

# 人工神经网络在潮汐数值预报中的应用

王建华<sup>1,2</sup>, 于红兵<sup>1</sup>, 宋运法<sup>1</sup>

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 潮汐数值预报经过了几十年的发展, 但是其预报精度并不能让人十分满意, 本文试图将传统的潮汐数值预报模式与近年来发展迅速的人工神经网络相结合并改进潮汐数值预报的精度。文章建立了一个神经网络系统, 采用潮汐数值模式的输出结果作为网络输入, 潮位观测资料作为输出, 用建立的神经网络进行训练, 结果表明人工神经网络可以明显地改进潮汐数值预报的精度。

**关键词:** 人工神经网络; 潮汐数值预报; 湛江湾

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 0239 (2007) 2 - 0047 - 05

## 1 引言

人工神经网络 (Artificial Neural Network, 简称 ANN) 是在人类对其大脑神经网络认识理解的基础上使人工构造的能够实现某种功能的神经网络。它是理论化的人脑神经网络的数学模型, 是基于模仿大脑神经网络结构和功能而建立的一种信息处理系统。它实际上是由大量简单元件相互连接而成的复杂网络, 具有高度的非线性, 能够进行复杂的逻辑操作和非线性关系实现的系统。人工神经网络吸取了生物神经网络的许多优点, 具有: (1) 高度的并行性; (2) 高度的非线性全局作用; (3) 良好的容错性与联想记忆功能; (4) 十分强的自适应、自学习功能等一系列特点。

1943 年, 心理学家 Warrant McCulloch 和数理逻辑学家 Walter Pitts 从信息处理的角度出发, 采用数理逻辑的方法, 对生物神经细胞的动作进行研究, 提出了形式神经元模型, 称为 MP 模型, 并开始了神经网络的研究。近年来, 伴随着计算机技术的发展, 人工神经网络作为新学科、新方法和新技术, 在模式识别、预测和预报、优化问题、神经控制、智能决策和专家系统等领域得到了广泛的应用, 取得了令人满意的成果。

近年来人工神经网络在水文学方面得到广泛的应用, 例如降雨径流预报<sup>[1]</sup>、洪水预报<sup>[2]</sup>。有学者把神经网络应用到波浪预报中: Tsai<sup>[3]</sup> 等应用神经网络技术通过一个测站的观测波高预测附近另一个测站的波高; 齐义泉、张志旭<sup>[4]</sup> 等将人工神经网络与第三代波浪数值预报模式相结合, 改进了波浪数值预报的精度; 在风暴潮预报中, 李未<sup>[5]</sup> 等利用神经网络技术建立了两测站台风风暴潮和天文潮的综合增水效应预报模型。

潮汐数值预报是采用数值解法求解潮波动力学基本方程, 即 N-S 方程。自 1952 年

汉森提出潮波数值计算的边值方法以来,经过几十年的发展,潮汐数值预报已经比较成熟,但是由于数学模型本身对实际物理现象的简化、初值条件和边值条件的误差、数值模型本身的误差等一系列原因,潮汐数值预报的精度并不能让人十分满意。本文试图将人工神经网络技术应用于潮汐数值预报中,以期改进数值预报的精度。

## 2 资料

本文用 ADI 方法求解二维浅水潮波方程,计算 2006 年 3 月 7 日 0 时~4 月 11 日 0 时湛江湾(见图 1)的潮波,模式采用 C 网格,网格步长  $100\text{m}\times 100\text{m}$ ,时间步长  $90\text{s}$ 。初始条件为零,水边界条件采用由十一个主要调和分潮预报的潮位,陆边界法向梯度为零。计算稳定后,每十分钟输出一次潮位值。

实测资料来源于 2006 年 3 月 7 日 15 时~4 月 10 日 12 时中国科学院南海海洋研究所所在湛江湾的观测资料,观测位置见图 1,观测仪器采用加拿大生产的 RBR 自容式水位计,采样间隔  $10\text{min}$ 。



图 1 计算区域及观测位置图

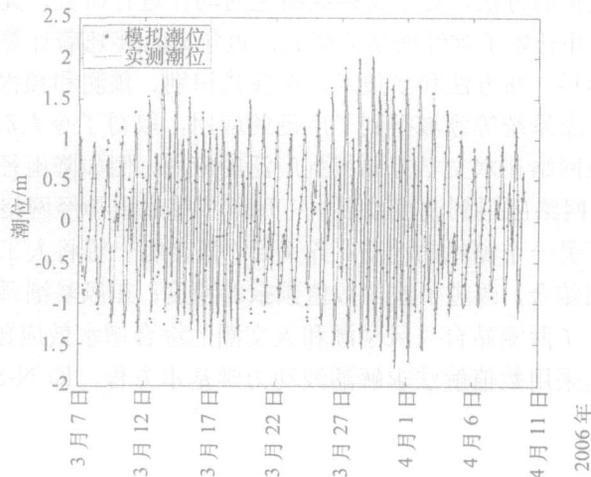


图 2 观测潮位和模拟潮位比较

图 2 是模拟结果与实测结果的比较，可以看出数值模拟无论是在相位还是振幅上都较好的与实测结果吻合，但是精度并不能让人十分满意，振幅最大误差有 0.32m。

### 3 神经网络的建立

神经网络按照网络拓扑结构可分为前馈网络(Feedforward Network)和反馈网络(Recurrent Network)两大类。本文采用目前应用最为广泛的误差反传前馈网络 (Back Propagation，简称 BP 网络)，网络拓扑结构为一个输入层，两个中间隐层以及一个输出层 (见图 3)。每一层由许多节点组成，每一个节点通过不同的权系数和邻近层的节点相联系，输出节点的值通过输入层的初始值控制，输入层节点的值通过不同的权系数，利用一个传输方程把信号传到下一层，传到输出层的值和目标值(观测值)比较，通过迭代重新调整传输过程中的权系数减小两者的误差。

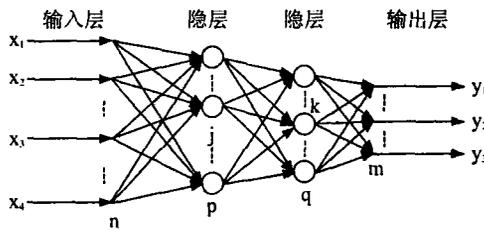


图 3 一个前馈神经网络模型结构图

网络的输入列向量为： $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ ， $X$  是模拟的潮位， $n$  表示输入层节点的个数。神经元节点的连接权重表示为权重矩阵  $W$ ，权重矩阵  $W$  的行数等于输出神经元节点数  $m$ ，列数等于输入神经元节点数  $n$ 。 $W$  的  $j$  行是神经元节点  $j$  的权重向量  $\bar{W}_j$  (行向量)。阈值  $\theta$  为： $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m]^T$ 。那么对于有两个隐层的网络结构：

$$Y = f_3 \{ W_3 f_2 (W_2 f_1 (W_1 X + \theta_1) + \theta_2) + \theta_3 \} \tag{1}$$

$Y$  表示输出列向量，这里指观测潮位。 $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 、 $f_3(x)$  是传输函数， $f_1(x)$  是 S 型函数， $f_2(x)$ 、 $f_3(x)$  选取线形函数，表达式为：

$$f_1(x) = 1 / (1 + e^x) \tag{2}$$

$$f_2(x) = k * x \tag{3}$$

$k$ 、 $t$  是常数。初始权值和阈值随机选取，利用梯度下降法对网络进行训练，不断调整权值和阈值，经过 5 000 次训练达到要求，使输出值和实测值之间的均方根误差达到最小。均方根误差表达式为：

$$E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_o - Y)^2} \quad (4)$$

式中  $N$  为样本个数； $Y_o$  为想要的输出值（实测潮位）； $Y$  为通过 ANN 计算的输出值。

## 4 人工神经网络训练结果

本文利用这一模式的输出潮位作为人工神经网络模型的输入节点的值，以观测潮位作为目标输出，对自 3 月 7 日 15 时 ~ 4 月 8 日 15 时的观测值利用 ANN 进行训练学习，其余 4 月 8 日 16 时 ~ 4 月 10 日 12 时的观测值作为验证分析使用。训练前，这些观测值和对应时刻模式预报值均方根误差为 0.14 m；经过人工神经网络训练，观测值和模式预报值均方根误差降为 0.07 m。从图 4 也可看出（为图像清晰每小时一个节点），经过人工神经网络训练后的预报结果更接近于观测值。

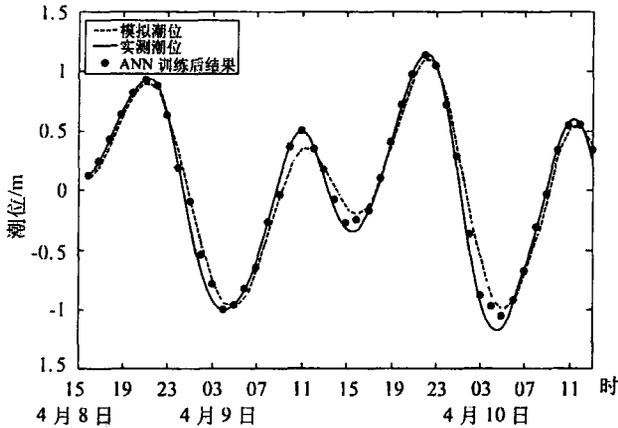


图 4 ANN 训练后的模拟潮位和观测潮位的比较

## 5 结论

本文利用潮波数值模拟的潮位作为输入，实测潮位作为输出，研究了人工神经网络在改进潮汐数值预报精度方面的作用。研究表明，人工神经网络可以较好的改进潮汐数值预报的精度。

作为方法上的探讨，文章只是选取了一个测站的资料，当然本文的研究结果也只是在湛江湾海域附近有效。今后可以利用丰富的验潮站资料，研究建立大规模、高效率的神经网络系统，提高潮汐数值预报精度，为海岸工程建设，航海等提供科学依据。这种方法也可用于风暴潮数值预报中。

## 参考文献:

- [1] Kuligowski R J, Barros A P . Experiments in short term precipitation forecasting using artificial neural networks [J] . Mon Weath Rev , 1998 , 126 : 470 ~ 482 .
- [2] Imrie C E , Durucan S , K0rre A . River flow prediction using artificial neural networks : generation beyond the calibration range [J] . J Hydrol , 2000 , 233 : 138 ~ 153.
- [3] Tsai C P , Lin C , Shen J N . Neural networks for wave forecasting among multi-stations [J] . Ocean engineering , 2002 , 29 : 1683 ~ 1695 .
- [4] 齐义泉, 张志旭, 等. 人工神经网络在海浪数值预报中的应用[J]. 水科学进展, 2005, 16: 32 ~ 35.
- [5] 李 未, 王如云, 等. 神经网络在珠江口风暴潮预报中的应用[J]. 热带海洋学报, 2006, 25 (3): 10 ~ 13.

## Application of artificial neural network to numerical tidal prediction

WANG Jian-hua<sup>1,2</sup>, YU Hong-bing<sup>1</sup>, SONG Yun-fa<sup>1</sup>

(1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China)

**Abstract:** The tidal numerical prediction has been developing for tens of years, but the result is not good enough. The objective of this paper is to use an artificial neural network (ANN) model to train the output of a numerical tidal model to better forecast the tidal level from observation data. After training, the agreement between the numerical tidal model's output and the observation data generally increases. The goal of this paper is to investigate the feasibility of using an ANN to improve a tidal model's numerical tidal level prediction so as to develop a more accurate tidal level forecasting system. The results show that an ANN is an useful tool for this purpose.

**Key words:** artificial neural network; numerical tidal prediction; ZhanJiang bay