

南通港潮汐优化模型和算法研究

崔志华¹, 唐春华², 汝志轩², 吴善刚²

¹南通海事局政务中心, 江苏 南通

²上海海事大学商船学院, 上海

Email: 642333166@qq.com

收稿日期: 2020年9月7日; 录用日期: 2020年9月20日; 发布日期: 2020年9月27日

摘要

为了实现对长江航道内一些无相关潮汐信息的港口的潮汐预测, 本文提出潮汐预测模型, 通过对已知港口潮汐的同一时刻潮汐信息的拟合来计算任意点在该时刻的潮汐, 并通过对所有时刻的潮汐拟合来计算任意时刻的潮汐。

关键词

潮汐预测, 潮汐推算, 潮汐模型

Research on Optimization Model and Algorithm for Tidal Prediction of Nantong Port

Zhihua Cui¹, Chunhua Tang², Zhixuan Ru², Shangang Wu²

¹Government Affairs Center, Nantong Maritime Safety Administration, Nantong Jiangsu

²Merchant Marine College, Shanghai Maritime University, Shanghai

Email: 642333166@qq.com

Received: Sep. 7th, 2020; accepted: Sep. 20th, 2020; published: Sep. 27th, 2020

Abstract

In order to achieve tidal predictions for some ports in Yangtze River Channel without tidal information, this paper proposes a tidal prediction model, which calculates tide of any location at a certain time by fitting tidal information of ports with known tidal information at that time, and calculates tide of any one time by fitting tidal information at all times.

Keywords

Tidal Prediction, Tidal Calculation, Tidal Model

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

潮汐预报对船舶航行安全、港口运转效率及近岸工程十分重要。准确的潮汐预报是航行安全的重要保障，并有利于港口水深资源的充分利用。

潮汐预报主要采用的是调和分析方法，但该方法的精度有一定的限制。一些作者进行了改进，李煜[1]将非监督的非负矩阵分解方法应用到潮汐分析和预报中，该方法不需要长期的实际观测数据就能够有助于在线潮汐预报。刘娇[2]使用 ARIMA-SVR 模型进行潮高计算，将天文潮位、非线性水位两部分的计算结果进行线性求和得到最终的潮汐预测值。柳成[3]使用支持向量机对潮汐的非天文潮部分进行预测，并结合调和分析法稳定的优点，有利于预测精度的提高。

将神经网络应用于潮软预报领域是近年来出现的一种新的研究方向。目前利用人工神经网络进行潮位预测的方法大致有以下几种类型：一种是根据实测潮位数据直接进行神经网络预测[4] [5] [6] [7]；另一种是在对实测潮位数据进行谱分析的基础之上，以特征波高(如 H1/3、H1/10 等)为依据来进行预测[8]；还有一种类似于传统的调和分析方法，这种方法以多个潮汐要素为网络输入同实测潮汐数据进行拟合和预测[9]。一些作者对神经网络方法进行了改进。如将潮汐预报模型进行模块化处理[10]，这种模型包含了用于预测潮汐天文潮部分的调和预测模块以及用于预测非天文潮部分的 BP 神经网络预测模块。或是利用一些优化算法对神经网络方法进行改进，如粒子群优化[11]、人工鱼群优化[12]、变异粒子群优化[13]。

以上方法大多数都是根据所在港口的历史潮汐数据对该港口将来潮汐进行预测，但几乎没有人对一些没有潮汐信息的港口进行潮汐预测，为解决这个问题，本文提出了对一般没有潮汐信息的港口进行潮汐预测。

2. 潮汐模型构建

为了推算从吴淞口到江阴航段内的任意点的任意时刻的潮高，本文建立了阶段拟合潮汐预测模型。

2.1. 任意点潮高计算

《潮汐表》中对于每个港口的潮汐都有整点的潮高预报，阶段潮高是同一个时刻的所有预报站中的潮高的集合。任意点潮高计算是对所有预报站中的阶段潮高进行拟合，通过距离 - 潮高的拟合函数算出该航段内任意点 p 在该时刻的潮高 h_p 。基于本模型的潮汐预测，预报站越密集，预报的结果越精确。因此，为了精确预报从吴淞口到江阴航段内的任意点的任意时刻的潮高，本模型选择了长江航道内所有的潮汐预报点，共 6 个，分别为吴淞口、石洞口、白茆、浒浦、天生港及江阴。

建立距离 - 潮高坐标系。以吴淞口为距离参考点，横坐标为距离，纵坐标为同阶潮时建立直角坐标系，吴淞口、石洞口、白茆、浒浦、天生港及江阴的距离值分别为 0 nm、6.49 nm、30.89 nm、38.11 nm、57.26 nm、82.08 nm，6 个预报站的地理位置分布如图 1 所示。



Figure 1. Geographical distribution of 6 tide forecast stations
图 1. 6 个潮汐预报站地理分布

选取各预报站在 7 号的第一小时为例，通过拟合函数来计算在该时刻的潮高 h_p 。在该模型中采用多抛物线拟合连续的三个点(如图 3)，连续的三个点的中间点为曲线的中心点，假设任意点 p 到吴淞口的距离为 d ，则两个拟合函数为

$$h_1 = f_1(d) \tag{1}$$

$$h_2 = f_2(d) \tag{2}$$

当待计算点在靠近两个端点时(如图 3 中的虚线区域)， $h_2 = 0$ ，则 $h_p = f_1(d)$ ；否则， $h_p = f_1(d) + f_2(d)$ 。

为了提高计算精度，利用反距离加权插值来计算吴淞口到江阴航段中的任意点的潮高。反距离加权为

$$w_i = \frac{1/d_i^\alpha}{\sum_{i=1}^2 d_i^\alpha} \tag{3}$$

其中， d_i 表示任意点 p 到第 i 个中心点的距离；通过多次试验求得 α 的最佳值为 1.263，则

$$h_p = w_1 \times f_1(d) + w_2 \times f_2(d) \tag{4}$$

距离-潮高关系如图 2 所示。

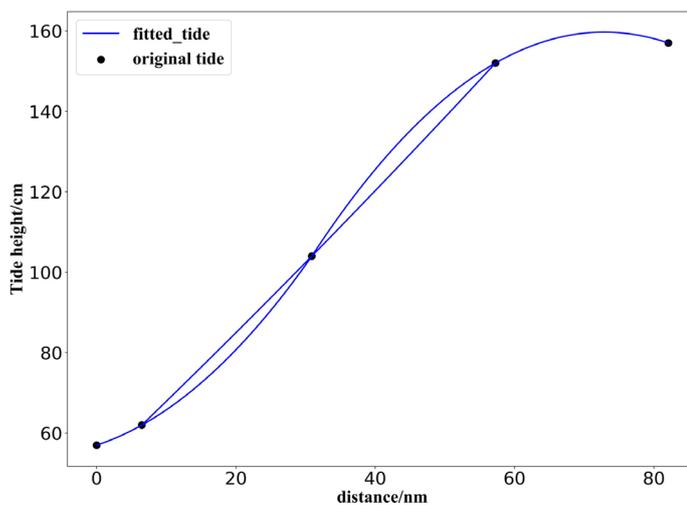


Figure 2. Distance-tide height fitting result
图 2. 距离 - 潮高拟合结果

2.2. 任意时刻潮高计算

根据 2.1 中的计算方法可以得到待预测港口每小时的潮高，通过拟合函数来计算该港口在任意时刻 t 的潮高，记为 h_t 。为了提高拟合精度，本文中采用四分之一周期为一次拟合点，并用 7 次多项式来拟合。拟合结果如图 3 所示。

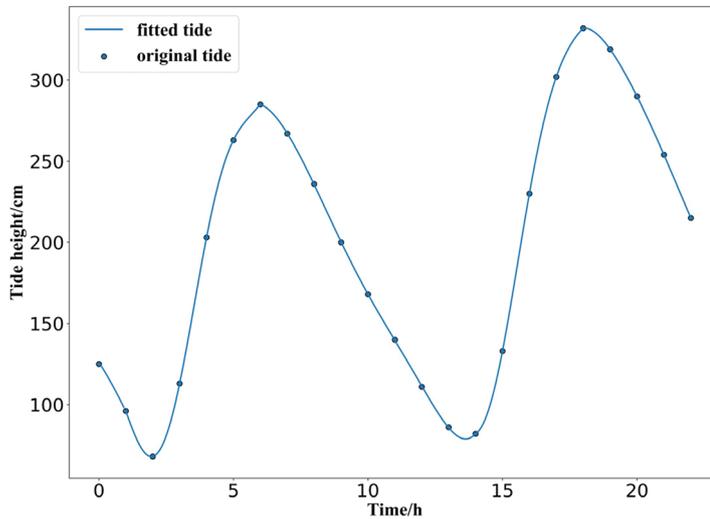


Figure 3. Fitting results of the 7th degree polynomial of quarter cycle tide
图 3. 四分之一周期潮 7 次多项式拟合结果

3. 模型测试

为了验证模型的准确性，6 个预报站中的浒浦为测试站，其他点作为曲线拟合站。通过本文模型对浒浦的预测潮高与原始潮高对比如图 4。图 5 为模型对浒浦的预测潮高误差，图 6 为模型对浒浦的预测潮高误差的箱型图。结合图 6 和表 1 可知，本所提出的模型所预测的 24 个点中，其中最大误差为 -18.26 cm，绝对误差超过 10 cm 共三个点，标准差为 6.76 cm，平均误差为 0.97 cm。

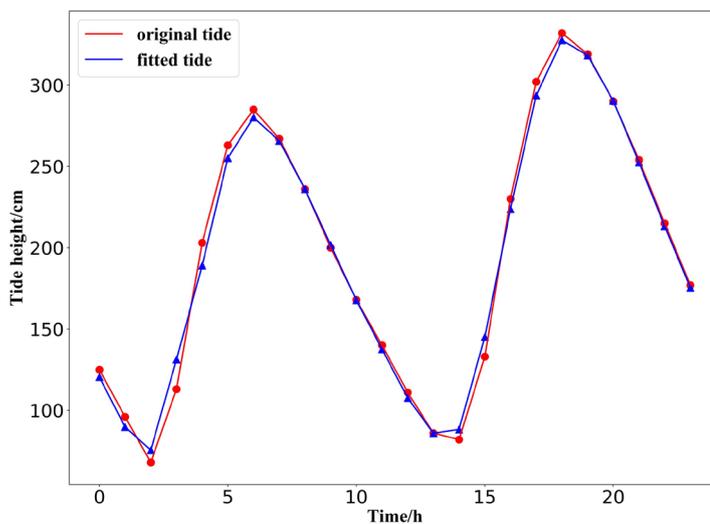


Figure 4. Comparison of the model's prediction of Hupu tide height and the original tide height
图 4. 模型对浒浦的预测潮高与原始潮高对比

从图 6 可以看出误差结果并不是均匀分布的，误差主要分布在零点位置偏右，换言之，本模型预测的结果大多数比实际潮高偏小一些，这是符合船舶航行安全的；从图 5 还可以看出，本模型预测结果误差较大的情况是在涨潮时发生，因此，预测的误差对航行安全是没有影响的。另外，相比 10 m 左右吃水的船舶，200 cm 左右的潮高，本模型预测结果存在的误差几乎可以忽略不计。因此，基于本模型的潮汐预测的误差大小在可接受范围内。

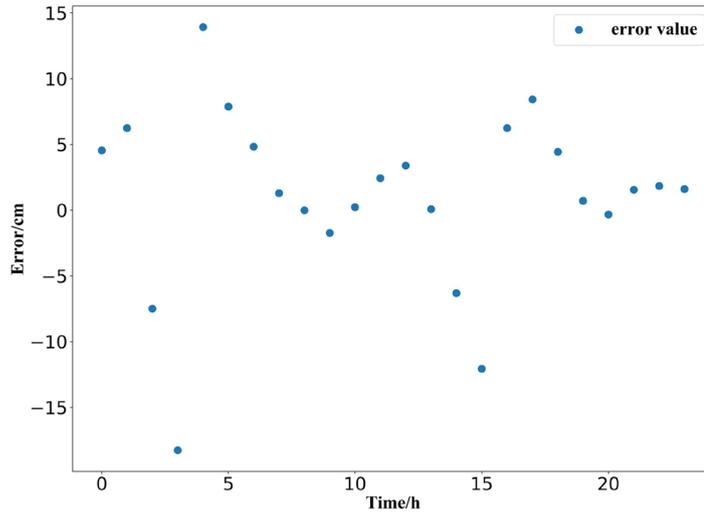


Figure 5. Tidal height error predicted by the model
图 5. 模型预测潮高误差

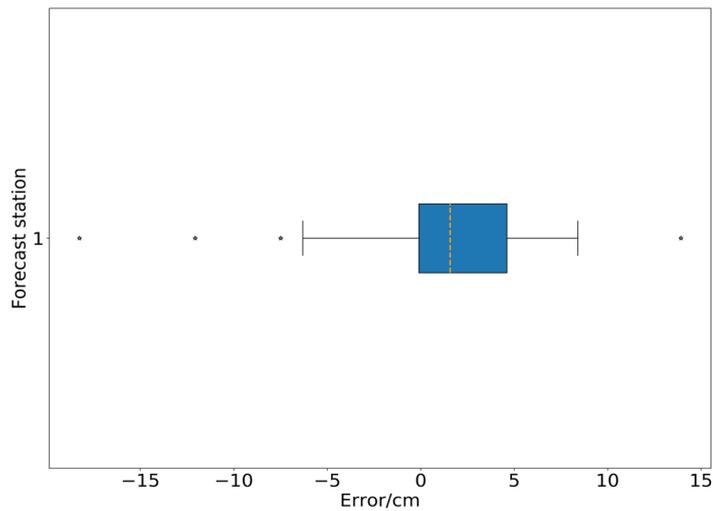


Figure 6. Hupu's prediction tide height error box plot
图 6. 浒浦的预测潮高误差箱型图

Table 1. Model prediction tide height error analysis table
表 1. 模型预测潮高误差分析表

预测站	数据量	平均值 /cm	标准差 /cm	最大误差 /cm	上四分位数 /cm	下四分位数 /cm	上限 /cm	下限 /cm	异常值
浒浦	24	0.97	6.76	-18.26	4.61	-0.10	8.41	-6.31	4

4. 南通港潮高预测

南通港位于天生港与江阴之间靠近天生港的港口，基于本模型来预测南通港的潮高，只需要浒浦、天生港、江阴三个预报点就可以预测。因此，本模型对南通港的潮汐预测仅选取长江航道内的浒浦、天生港及江阴 3 个潮汐预报站(如图 1)。

在本节中是预测南通港 2017 年 3 月 1 号的潮汐信息。从吴淞到南通如皋港的距离为 61.3 nm，通过本文所提出的模型对南通港的潮高预测结果如图 7。南通如皋港位于天生港和江阴之间并靠近天生港，由图 7 可以看出，本文所提出模型对南通如皋港的预测结果与实际情况相符。

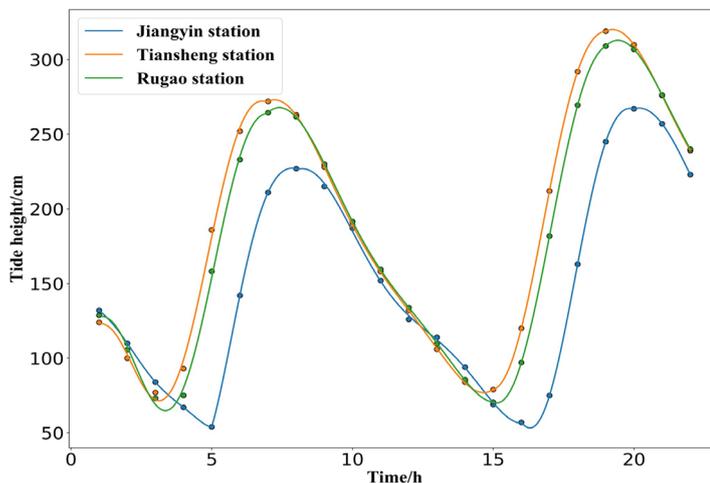


Figure 7. The model's prediction result of the tide height of Nantong Port
图 7. 模型对南通港的潮高预测结果

5. 结语

对于吃水较大的船舶，靠离长江航道内的一些港口往往需要借助潮高才可以。大部分主港都有潮汐信息，一些副港可以通过其相关的主港的潮汐信息进行推算，而其他的普通港口的潮汐信息无法获取，导致一些港口对于大型船舶的引航效率降低。本文提出了一种潮汐预测模型，对长江航道内 6 个预报站中的阶段潮高进行拟合，通过距离 - 潮高的拟合函数算出该航段内任意点 p 在该时刻的潮高 h_p 。再通过时间 - 潮高的拟合函数算出该港口在任意时刻 t 的潮高 h_t 。为了提高拟合精度，本文中采用四分之一周期为一次拟合点，并用 7 次多项式来拟合。本文所提出来的模型对于今后研究普通港口的潮汐推算具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 李煜. 非负矩阵分解在潮汐分析和预报中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- [2] 刘娇, 史国友, 朱凯歌, 等. 基于调和分析和 ARIMA-SVR 的组合潮汐预测模型[J]. 上海海事大学学报, 2019, 40(3): 93-99.
- [3] 柳成. 基于支持向量机的模块化潮汐预报[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2017.
- [4] 陈明杰, 倪晋仁, 查克麦, 等. 遗传神经网络在二维潮流特性模拟中的应用[J]. 水利学报, 2003(10): 89-97.
- [5] Lee, T.L., et al. (2002) Application of Artificial Neural Networks in Tide-Forecasting. *Ocean Engineering*, **29**, 1003-1022.
- [6] 张作一, 王瑞荣, 王建中, 等. 基于前馈神经网络的潮汐预报[J]. 杭州电子科技大学学报: 自然科学版, 2010, 30(4): 17-21.

-
- [7] 张巍, 沈寿林, 白承森. 一种神经网络的偏远海区潮汐仿真预测[J]. 计算机仿真, 2011(4): 178-181.
- [8] Tsai, C.P., Lin, C. and Shen, J. (2002) Neural Network for Wave Forecasting among Multi-Stations. *Ocean Engineering*, **29**, 1683-1695. [https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(01\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(01)00112-3)
- [9] Yin, J.C., Zou, Z.J. and Xu, F. (2013) Sequential Learning Radial Basis Function Network for Real-Time Tidal Level Predictions. *Ocean Engineering*, **57**, 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.08.012>
- [10] 张安然. 基于 BP 神经网络的模块化潮汐预报[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2015.
- [11] 周涛. 基于改进 RBF 网络的潮汐预报系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2016.
- [12] 高铭良. 基于水文测量的潮汐预报与显示系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2016.
- [13] 张泽国. 神经网络的智能优化及其在潮汐预报中的应用[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2018.