

文章编号: 1000-5641(2012)04-0190-06

长江口风暴潮集成可视化预报系统的升级

李 铖, 葛建忠, 丁平兴

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 运用 VB.net、Intel Fortran 等软件对长江口风暴潮集成预报系统进行升级与改进. 引入 SWAN 并行计算模式, 显著提高波浪模式的计算效率, 解决了快速预报中考虑波浪计算的时效性问题. 优化流场模式代码, 进行模块化设计, 提高流场模式的计算效率. 对软件界面进行改进, 增强了人机交互界面友好性, 提高了软件兼容性与稳定性. 通过 5 个台风暴潮的计算对比, 结果表明新系统保持了原预报系统计算精度, 并提高了系统整体预报效率. 在本文的硬件环境中, 不考虑波浪计算时, 预报时间节省 60%; 考虑波浪计算时, 预报时间节省 68%.

关键词: 可视化系统; 风暴潮预报; 长江口

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2012.04.023

Upgrades of the integrated visualized storm surge forecasting system in the Changjiang Estuary

LI Cheng, GE Jian-zhong, DING Ping-xing

(State key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: This study focuses on the upgrade of an integrated storm surge forecasting system for the Changjiang Estuary with development tools such as VB.NET, Intel Fortran, etc. The forecasting efficiency with wave consideration has significantly improved by the implementation of SWAN parallel computation. Hydrodynamic model could provide much faster forecasting with the optimization and modularization of the source code. New software interface was designed to improve the compatibility and stability. The comparison between the original and upgraded version is given with 5 storm surge simulation, with an aim to show the system improvement on forecasting efficiency and precision. It shows the model precision of upgraded version is guaranteed. The efficiency is quantitatively increased by 68% and 60% with consideration and neglecting of wave effect, respectively.

Key words: visualization system; storm surge forecasting; Changjiang Estuary

0 引 言

每年夏秋季, 我国东南沿海经常受到风暴潮袭击. 风暴潮造成的损失在每年海洋灾害损

收稿日期: 2011-03

基金项目: 中荷战略科学联盟计划(2008DFB90240)

第一作者: 李铖, 男, 硕士研究生.

通讯作者: 丁平兴, 男, 教授, 博导, 主要研究方向为陆海相互作用. E-mail: pxding@sklec.ecnu.edu.cn.

失中排名第一^[1]. 因此,提供及时、准确的风暴潮预报警,对于发展社会经济、保护人民生命财产安全有着重要意义.

国际上风暴潮数值预报研究始于20世纪50年代,早期的有英国的 Sea Model 和美国的 SPLASH、SLOSH 模式, ADCIRC 模式和 DELFT3D 模式也在一些国家和地区得到良好应用^[2,3]. 我国很多学者对风暴潮产生的复杂动力机理和风暴潮预报模式进行了大量研究. 20世纪70年代以来以冯士筴、秦曾灏等为代表的科学工作者开展了关于热带气旋、风暴潮运动的理论和数值预报研究,并提出了浅海风暴潮理论及数值模式^[4,5]. 尹宝树、丁平兴等对波浪、天文潮与风暴潮相互作用进行了相关研究^[6,7]. 为了业务预报的应用方便,将各种模式的计算结果进行直观、形象的可视化显示,国内外相继发展一些风暴潮可视化预报系统. Fanjul 等在西班牙海域建立了 Nivmark 风暴潮预报系统^[8],荷兰也开发了一套完整的风暴潮业务预报系统^[3]. 我国的朱军政等^[9]和李洪才等^[10]分别建立了钱塘江河口及广东沿海风暴潮可视化预报系统. 这些集成系统在防灾减灾中发挥了重要作用.

1 风暴潮集成可视化预报系统简介

为了满足快速预报业务的需要,葛建忠等^[11,12]建立了一套长江口、杭州湾及其邻近海域的风暴潮集成预报可视化系统,并以软件形式发布. 该系统以二维复合流场模型为基础,采用非正交自适应网格,包括风场模型、波浪模型与复合流场模型. 其具有如下特点:可在普通 Windows 计算机上运行,不需要昂贵的计算集群,降低了系统的使用门槛;整合了数值预报、数据分析、图像输出和数据库功能;将大量的计算数据输出为各种静态、动态图形,方便了预报员对计算结果的分析处理. 2005年该系统曾成功预报了 TC0509(麦莎)、TC0515(卡努)等多次台风风暴潮过程,预报精度可靠,已被水利部太湖流域管理局、国家海洋局东海预报中心等单位用于业务预报.

几年来,在该系统的实际应用过程中发现了一些不足之处,如:①波浪模块计算耗时过长;②流场模式计算效率相对较低;③操作界面不够人性化,后处理功能相对简单;④软件不兼容于新版本操作系统等. 这对风暴潮的业务化预报造成了一些不便,尤其是在快速预报中为了提高预报时效性,往往不考虑波浪. 因此,本文在保持预报系统计算精度的前提下,以提高预报效率为主要目的,针对上述问题进行预报系统的升级.

2 风暴潮集成可视化预报系统的升级

预报系统的升级包括三个方面,首先引入的 SWAN 波浪并行计算模式;其次优化流场模式代码;最后进行软件界面的重新设计. 前两者以提高系统的计算效率为目的,后者为解决软件与最新主流操作系统的兼容性问题. 本文使用的开发工具及系统运行要求见表1.

表1 系统开发与运行环境

Tab. 1 System development and runtime environment

	开发环境	运行环境
操作系统	Windows 7	Windows 7、Vista、XP
软件平台	Visual Studio 2008、Inter Visual Fortran 12.0.1	NET Framework 3.5、Matlab Compiler Runtime7.11

2.1 SWAN 并行计算的引入

风暴潮预报系统中波浪计算部分采用第三代浅水波浪模式 SWAN^[13]. 该模式基于能量平衡方程, 采用波浪谱描述海浪的随机性, 考虑了较多的物理过程, 并采用了迭代的计算方式, 计算量较大. 因而, 原预报系统波浪模式计算消耗时间较多, 实际的快速预报中, 为了提高时效性, 往往不考虑波浪的作用.

并行计算可有效提高 SWAN 模式的计算效率. SWAN 模式的并行计算有两种方式: 一种是基于共享内存并行系统的 OPENMP 标准; 另一种是基于分布式存储的消息传递接口 MPI. 本文采用 OPENMP 的并行模式, 在程序开始执行时, 只有主线程在运行, 当运行到需要进行并行计算的时候, 派生出新线程执行并行任务, 在并行代码结束执行后, 派生线程退出, 不再工作, 控制流程回到单独的主线程中. 其优点是提供了更强的灵活性, 并且程序能够自动适应计算机的线程数, 适应不同的并行系统配置.

对预报系统中东中国海区域进行 SWAN 串并行对比实验, 计算台风风场驱动下的波浪场, 计算时长 7 d. 时间步长设为 15 min, 计算迭代次数设为 5 次, 计算网格数量 140×208 . 两种方式的计算结果保持一致. 表 2 列出了当前主流的两种 CPU 硬件环境下, 串行计算与并行计算分别消耗的时间. 从中可看出使用并行计算大幅节约了 SWAN 的计算时间, 实现了提高波浪模式计算效率的目的.

表 2 单线程与多线程计算耗时对比

Tab. 2 Comparison between single-threaded and multi-threaded computation time

CPU 频率与线程		串行计算/min	并行计算/min	节约时间/%
Intel I5-750	2.67 GHz 4 核 4 线程	384	120	68
Intel I7-920	2.67 GHz 4 核 8 线程	384	88	77

注: 电脑内存 4 GB, 硬盘 500 GB, 操作系统 Windows XP

2.2 流场模式代码的优化

原系统中的流场模式代码为 F77 格式, 且未经模块化, 导致编译后的执行效率较低. 本文对流场模式的代码进行了升级, 将原来的 F77 格式升级成标准的 F90 格式并模块化; 优化代码, 减少模块的重复调用, 提高代码的运行效率; 升级代码中的显示模块, 使之在兼容新系统下具有更高的效率. 流场模型各模块名称及主要功能如表 3.

表 3 各模块名称及功能

Tab. 3 Names and functions of each module

模块名	代码文件	功能
主程序	tide_main.f90	集中调用各模块
变量声明模块	mod_declaration.f90	对全局变量进行统一声明
输入控制模块	mod_input.f90	读入网格、水深、开边界等条件
输出控制模块	mod_output.f90	控制输出水位、流场、风场等计算结果
边界条件模块	mod_boundary.f90	对开边界、闭边界等边界条件控制
坐标控制模块	mod_calcoordinate.f90	相平面坐标与曲线坐标转换计算
时间控制模块	mod_caltime.f90	涉及各时间变量的计算
显示模块	mod_view.f90	实时显示水位、流场、风速等信息
风场计算模块	mod_wind.f90	风场计算相关
波浪计算模块	mod_wave.f90	波浪计算相关
流场计算模块	mod_calflow.f90	流场计算相关
嵌套输入模块	mod_nest_in.f90	模型嵌套计算, 从外部中读入嵌套数据
嵌套输出模块	mod_nest_out.f90	模型嵌套计算, 计算输出嵌套数据
调试模块	mod_debug.f90	溢出侦测与处理等调试相关

对比代码优化前后, 计算 15 d 台风过程, 原模式耗时 610 s, 而新模式耗时 359 s, 可节约 41% 的计算时间。

2.3 软件界面的升级

随着计算机软硬件的发展, Windows Vista 和 Windows 7 已逐步成为主流桌面操作系统。原预报系统的软件界面采用 VB 6.0 开发, 与主流操作系统不兼容。因此, 使用 VB.net 对软件界面进行重新开发, 解决与最新主流操作系统的兼容性问题, 同时增强人机交互界面的友好性。

升级前后软件共有的主要功能有: 实时更新水文数据、风场数据, 自动处理台风参数; 自动调用数值预报程序进行风场、波浪、风暴潮和天文潮计算; 计算结果以数据库形式存储, 与主系统实现数据共享; 根据用户设置进行部分计算数据可视化显示, 包括风场可视化、流场可视化及水位过程线显示等。新软件新增功能有: ①新增消息提示窗口, 对预报操作进行提示(见图 1); ②在流场、风场、增水场界面添加动画显示功能, 让计算结果更加直观, 图像浏览播放更便捷(见图 2); ③实现水位过程图的再编辑功能, 方便操作人员选择出图效果(见图 3)。



图 1 升级后系统主界面

Fig. 1 Upgraded system interface

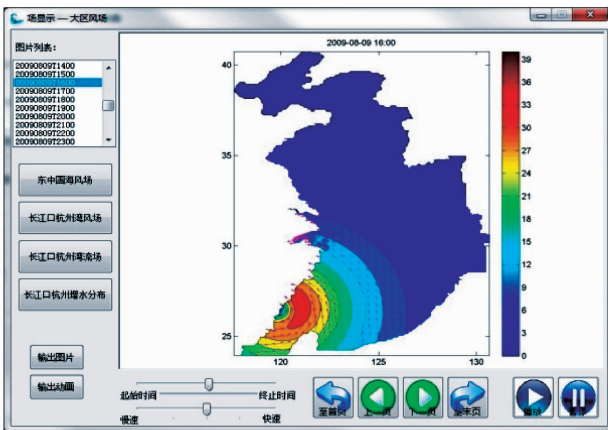


图 2 升级后台风风场显示界面

Fig. 2 Wind visualization at upgraded system

3 系统升级前后计算结果及运行耗时

本文选取 5 个台风过程分别对升级前后的预报系统进行风暴潮模拟预报计算. 为保证系统运行的外部环境一致, 二者计算使用同一电脑平台 (CPU: I5-750 2.67 GHz; 内存: 4 GB; 硬盘: 500 GB; 操作系统: Windows XP). 以 9711 台风计算结果为例, 如图 4, 可看出系统升级后精度良好.

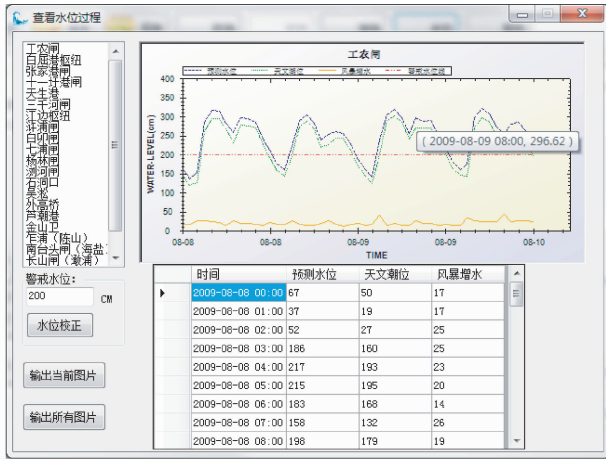


图 3 升级后水位过程显示界面

Fig. 3 Hydrograph visualization at upgraded system

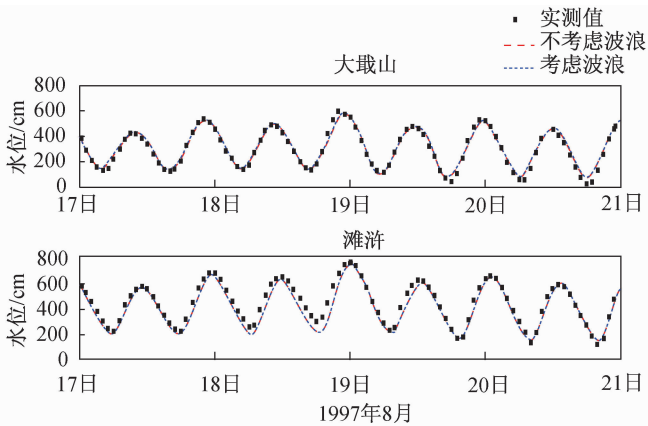


图 4 大戢山、滩浒 9711 台风风暴潮水位计算值与实测值比较

Fig. 4 Water level comparisons between calculated and measured values of Typhoon 9711 at Dajishan and Tanhu

由于电脑配置的不同, 计算时间会有差别, 故节约时间的比率会有所不同, 但整体上新系统计算效率提升很大. 表 4 统计了此次对比计算的总耗时, 在不考虑波浪计算情况下新系统节约运行时间 60% 以上, 考虑波浪计算情况下节约运行时间 68% 以上.

表4 原系统与新系统总耗时对比

Tab. 4 Comparison between the original and new system computation time

台风 编号	计算时 长/d	原系统/min (含波浪)	新系统/min (含波浪)	节约 时间/%	原系统/min (无波浪)	新系统/min (无波浪)	节约 时间/%
7909	4	126	39	69.0	36	13	63.9
0012	3	130	41	68.5	34	13	61.8
0414	3	110	34	69.1	32	12	62.5
9015	4	138	42	69.6	34	12	64.7
9711	4	128	40	68.8	32	12	62.5

4 结 论

原风暴潮集成可视化预报系统在多年来的实际应用中效果良好,预报精度可靠. 本文在保持其预报精度的前提下,提高波浪模式和流场模式的计算效率,最终提高了系统整体的运行效率,并改善软件操作界面,增强人机交互界面友好性,提高了软件兼容性与稳定性. 在本文所使用的电脑平台上,不考虑波浪的风暴潮计算可节约预报时间60%以上,而考虑波浪的风暴潮计算可节约68%以上,并控制在45 min以内. 这方便了业务单位在实际预报过程中可以考虑波浪进行计算,达到了预期效果.

[参 考 文 献]

- [1] 国家海洋局. 中国海洋灾害公报[R]. 北京:国家海洋局,2009.
- [2] WESTERINK J J, FEYEN J C, ATKINSON J H, et al. A New Generation Hurricane Storm Surge Model for Southern Louisiana [R]. Notre Dame: Department of Civil Engineering and Geological Sciences, University of Notre Dame, 2004.
- [3] VERLAAN M, ZIJDERVELD A, DE VRIES H, et al. Operational storm surge forecasting in the Netherlands: developments in the last decade [J]. Philosophical Transactions, 2005, 363(1831): 1441-1453.
- [4] 秦曾灏,冯士筭. 浅海风暴潮动力机制的初步研究[J]. 中国科学,1975,18(1):64-79.
- [5] 冯士筭. 风暴潮导论[M]. 北京:科学出版社,1982.
- [6] YIN B, SHA R. Numerical study of wave-tide-surge coupling processes [J]. Bulletin of Marine Science, 2006,47: 1-15.
- [7] HU K L, DING P X, GE J Z, et al. Modeling of storm surge in the coastal waters of Yangtze Estuary and Hangzhou Bay China [J]. Journal of Coastal Research, 2007,50:527-533.
- [8] FANJUL E Á, GÓMEZ B P, ARÉVALO I R S. Nivmar: a storm surge forecasting system for Spanish waters[J]. Scientia Marina, 2001, 65(S1):145-154.
- [9] 朱军政. 杭州湾台风风暴潮综合水位预报可视化[J]. 海洋预报, 2003,20(4):30-38.
- [10] 李洪才,王永信,林少奕. 广东沿海台风风暴潮可视化预报系统[J]. 海洋预报, 2004, 21(4):81-87.
- [11] 葛建忠,胡克林,丁平兴. 风暴潮集成预报可视化系统设计和应用[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2007(4):20-25.
- [12] 葛建忠. 风暴潮数值预报及可视化[D]. 上海:华东师范大学,2007.
- [13] THE SWAN TEAM. User Manual SWAN Cycle III Version 40.81[M]. Delft: Delft University of Technology, 2010.