

# 区域数值天气实时预报系统的研制

杨育强

高 坤

徐烽涛

(浙江湖州气象台,313000)

(浙江大学)

(湖州高性能计算实验室)

陈世春 方文信 朱 红

(浙江湖州气象台)

## 提 要

主要介绍在自行研制的神箭 SJ-100 并行计算机机群上建立的实时区域数值天气预报系统。该系统通过国家气象卫星通信网络获取地面、高空气象探测资料和国家气象中心 T106 数值天气预报产品资料,并引入北半球海温格点场资料和当地地面观测资料;运用美国 MMS 模式,建立了三重套网格,最高水平分辨率为 15km 的业务预报模式,并于 2001 年 1 月开始投入业务化试用。试验表明:该系统具有较强的短期天气预报能力,尤其是降水预报准确率较高,近地面气温、风、相对湿度等要素预报质量好。所提供的预报产品客观、定时、定量、定点,预报产品丰富,且计算速度快,收到了满意的效果。

**关键词:** 区域数值天气预报 实时业务系统 并行计算 机群

## 引 言

随着我国国民经济的高速发展,社会对气象的需求日趋增长,对天气预报的质量和气象部门所提供的气象要素以及其它各种天气现象的定时、定量、定点预报的要求越来越高,而传统预报方法很难满足,粗网格或无格点资料的数值天气预报产品也不能满足业务服务的各种需求。另外,目前省市气象台通过 VSAT 单收站获取大量非常有用的气象信息,由于缺乏合理的物理框架将这些资料融合在一起,故没有得到充分的应用。当前各地气象部门为了提高中小尺度天气监测而陆续建立了自动观测站,对从中获取大量的实时气象信息同样需要进行有效的处理。解决以上问题的最佳方案就是建立高分辨率的区域数值天气预报系统。

当前在日常的天气预报业务中,有许多气象台站在一定程度上依赖于欧洲中心(ECMWF)、日本等提供的数值预报产品,而

这些远不能满足气象业务的需要,因此迫切希望建立自己的数值天气预报系统。

随着计算机技术的不断发展,为建立分辨率高、实时性强的数值天气预报提供了可能性。鉴于单台计算机的计算能力已不能满足预报的需要,我们经过研究,组建了由 8 个计算机组构成的并行机群,使在单机上需要运行 8 个多小时的数值预报在并行机群上只需 1 个半小时,大大缩短了运行时间,为实时区域数值预报系统的建立提供了必要条件。

## 1 并行计算机机群简介

机群系统是利用高速通信网络将一组通用微型计算机按某种结构相互连接来实现高速并行处理的计算机系统。对用户而言,机群系统既可作为整体性的并行系统,又可将它的每个结点作为一台独立的工作站,系统用于并行计算,具有计算速度快、可靠性高、升级方便、扩展性好、机群组合灵活、投资少等优点,因此,并行机群系统在美国等国家

日趋流行。我们采用八台 P III-800 计算机(各计算机作为一个计算单元),用高速交换机相互连接组成了神箭 SJ-100 机群。并行处理系统由 Linux 操作系统、MPI(基于消息传递接口的标准通信库)、MPP(并行系统库)和 MMS(分布存储并行版)组成,构成并行机群的软件系统,该机群能直接与微机局域网相联接(见图 1)<sup>[1]</sup>。

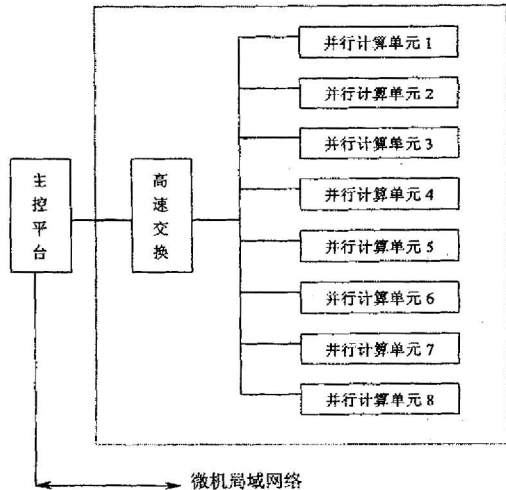


图1 并行计算机机群结构图

## 2 对比试验

我们用三重网格 15km 的最高水平分辨率、垂直 23 层的业务数值天气预报算题,分别在 P III-800 计算机、SJ-100 和 SGI Origin 2000 不同 CPU 个数组合下,分别作了对比运算,比较结果见表 1。

表 1 数值天气预报在不同计算环境下运算速度对比

计算平台	CPU 数目	计算时间/s
Intel P III 800 CPU 微机(512M 内存)	1	487
SJ-100 8 个 P III 800 CPU	8	101
SGI Origin 2000 小型计算机	1	303
	2	153
	4	84

显而易见 SJ-100 比 P III-800 计算速度快 386 秒,运算速度有了明显的提高,已十分接近美国的 SGI Origin 2000(4 个 CPU)计算速度。若采用 P III-1.3G CPU 芯片, SJ-100

的计算速度将会得到更大的提高。随着 PC 计算机芯片的不断更新,所组建的并行机群的计算速度将提高更快,因此易升级换代是 SJ-100 并行机群的一大特点。

## 3 资料收集与处理

我们选用了北半球 5~80°N、30°E~180 范围内 T106 数值预报格点场资料,垂直层次分为地面和 925、850、700、600、500、400、300、250、200、150、100hPa 共 12 层。并选用 20 时实况分析场以及每 6 小时一次直至 48 小时的海平面气压、高度场、气温、风向风速、相对湿度等要素的预报场资料,同时选取与此相同范围内的海面温度场资料。另外,选取 1~85°N、10°E~160°W 范围内的地面每 3 小时观测资料和 20、00 时(世界时)高空 11 层探测资料,同时选取各特性层的风向风速、温度和露点温度资料,并引入湖州一市三县地面观测资料和新建立的两个自动观测站资料。通过地形处理、T106 资料处理和客观分析、初始场侧边界条件的产生等资料预处理,为 MM5 模式提供初值和边值,工作流程参见图 2。

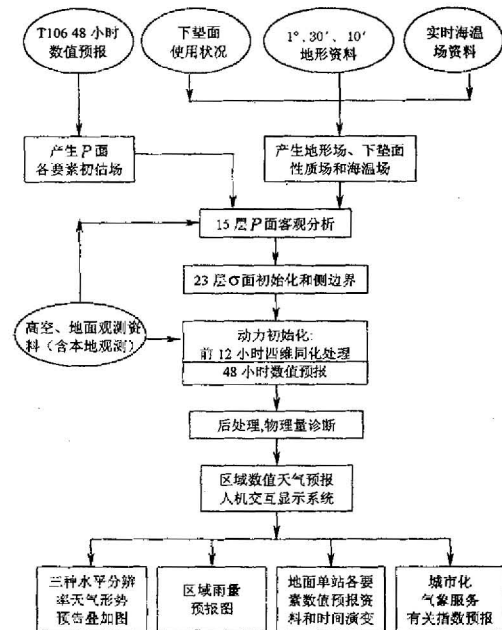


图2 系统流程图

#### 4 区域数值天气预报方案

我们引进了由美国国家大气研究中心(NCAR)与美国宾夕法尼亚州立大学(PSU)联合研制的MM5非静力中尺度模式,设计三层套网格即135km、45km、15km格距,粗、中、细三重网格的地形参数资料分别采用1°、30′、10′地形参数,最高水平分辨率为15km,垂直方向为23层。基本原始资料采用T106半球模式预报产品、海温场资料、高空(含各特性层)探测资料、地面探测资料及本地地面测站和自动观测站资料。初始化则由T106预报产品提供最外层135km格距网格的侧边界;客观分析方法采用修正的CRESSMAN方案。主要物理过程采用GRELL对流参数化方案、简单冰的混合相方案、美国中期数值预报模式的边界层方案及下垫面5层土壤方案。用T106产品作为初估场,并利用20、08时高空探测资料和20~08时12小时内每3小时一次的地面观测资料对前12小时资料进行客观分析。利用该分析场进行前12小时的资料四维同化,通过动力初始化获得动力协调和包含一定中尺度信息的08时初始场。最外层时间积分步长为 $350s^{[2-4]}$ 。区域数值天气预报流程参见图2,三层套网格和15km地形参数处理参见图3(a,b)。

#### 5 预报结果的输出

##### 5.1 数值预报产品输出

我们采用每隔3小时一次输出的预报结果,经过诊断和垂直内插产生包含三重网格850、700、500、200hPa等压面的高度场、温度场、湿度场、风场、流场以及各种物理量场图形和各预报站点的海平面气压、地面降水、气温、风向风速、相对湿度等要素的预报资料。

##### 5.2 区域数值预报人机交互软件

该软件实现了三重网格的各层次多要素的数值产品迭加图显示和12~48小时预报图的一屏多幅显示,并具有动画、放大等功能,各种图形清晰美观,彩色显示一目了然。采取图表同步输出方式,输出相应时次预报

站点近地面的气象要素预报资料,目前我们可输出湖州市范围内各站的预报结果(图略)。

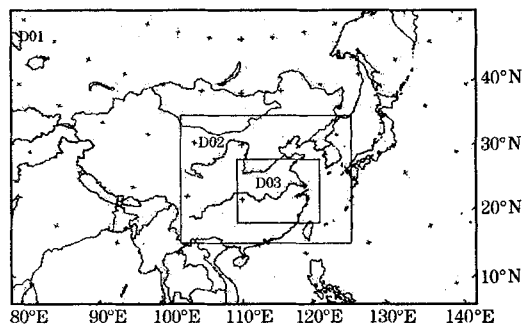


图3a 三重套网格图

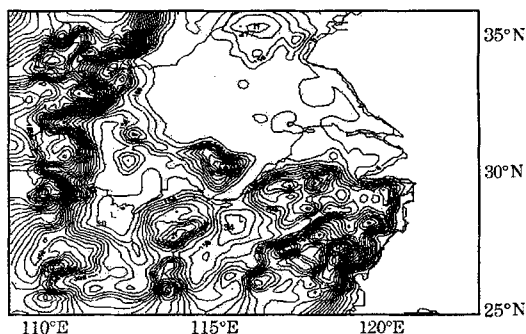


图3b 15km格距网格地形参数

#### 6 应用实例分析

该系统于2001年1月19日在湖州市气象台投入了业务试用,通过35天的实际预报,系统提前24小时报出湖州1月21~26日、2月3~7日和2月11~13日3次明显的降水过程,各降水过程的起始和结束时间预报准确。经过对模式的质量评定,24、36、48小时晴雨预报准确率分别为97%(34/35),94%(33/35)和91%(32/35)。采用中央台预报统一评分方法评定结果:24、36、48小时一般性降水预报质量分别为16/17、14/16和14/17,系统实际预报能力与同期日本数值预告产品的预报能力相当。另外,对于天气形势的预报和对近地层的气温、风向风速、海平面气压同样具有较高的预报能力,成为日常业务中可供预报员参考的实用性工具。

#### 7 讨论

(1) 研制开发了SJ-100并行计算机

群,其特点为运算速度快,性能稳定,维修简便等,而易升级是 SJ-100 的优势所在。随着国际上单 CPU 芯片的不断更新换代,以较少的成本替换 CPU 后,其机群的速度将会得到快速提高,这是其它超级计算机所难以实现的。当前国内地市台和部分省级台对计算设备性价比的高低以及淘汰率等技术参数十分看重,而性价比高又是机群的一大优势。

(2)通过区域数值预报系统建设,可以更好地满足现代气象服务的需求,为建立实用的防灾抗灾预警系统提供重要条件。该系统提供的全数字化、高分辨率、众多要素的客观定时定量定点预报产品,又可开发出其它各服务领域的众多服务产品,有利于拓宽气象服务领域。

(3)采用前 12 小时四维同化技术其本质就是产生动力初始场,促使所产生的结果中的各个气象要素场具有动力协调功能,而不仅仅局限于单一要素场垂直层次简单的关联。四维同化技术保证了动力初始场具有一

定的中尺度信息,使之具有当地的地域天气特性,有利于提高区域天气预报的准确率。目前对于卫星云图资料,特别是雷达资料同化问题尚未涉及,另外对于国内地形参数文件的细化工作还有待于进一步优化。

另外,该系统对于不同季节特点、不同天气系统和局部性天气的预报能力还有待于作进一步的业务化检验,模式的技术方案尚有进一步改进的必要,以便提高系统的整体预报能力。

#### 参考文献

- 1 “神箭-100 区域数值天气预报并行计算系统”研究课题组. 区域数值天气预报研究技术报告, 2001. 2.
- 2 程麟生. 中尺度大气数值模式发展现状和应用前景. 高原气象, 1999, 18(3): 350~360.
- 3 崔波, 王建捷, 郭肖容. MM5 在国家气象中心 CRAY-C92 的实时预报试验尝试. 应用气象学报, 1999, 10(2): 129~140.
- 4 王建捷, 王迎春等. 北京地区中尺度非静力数值预报系统的开发与实时预报应用. 应用气象学报, 1999, 10(4): 385~393.

## An Operational System of Real-Time Regional Numerical Weather Forecast

Yang Yuqiang<sup>1</sup> Gao Kun<sup>2</sup> Xu Fengtao<sup>3</sup>  
Chen Shichun<sup>1</sup> Fang Wenxin<sup>1</sup> Zhu Hong<sup>1</sup>

(1. Huzhou Meteorological Observatory, Zhejiang 313000 2. Zhejiang University 3. Huzhou Computer Lab.)

#### Abstract

A operational system of real-time mesoscale numerical weather forecast is developed based on SJ-100 Cluster System of parallel computing. By acquiring the 48 hour forecast of T106 numerical weather simulation and surface and radiosonde observations, including sea surface temperature and local surface observations, the NCAR/PSU MM5 model is running over three nesting domains of 135, 45 and 15 km grid length. The quasi-operational experiment has been conducted since January 2001 with 12 hour FDDA prior to the initial time on a cluster composed by 8 Intel PIII-800 CPU. The system displays considerable capability for regional short range weather forecast of precipitation, temperature, wind, moisture at the surface layer. The forecast productions consist of various weather elements and phenomena with quantitative analyses, timing and locations and are displayed in the form of graphics, table and text.

**Key Words:** regional numerical weather forecast real-time operational system parallel computing PC cluster