

于连庆,李月安,高嵩,等. 集合预报产品综合分析显示平台关键技术与实现. 应用气象学报,2015,26(3):369-377.
doi:10.11898/1001-7313.20150313

集合预报产品综合分析显示平台关键技术与实现

于连庆* 李月安 高嵩 罗兵

(国家气象中心,北京 100081)

摘 要

针对集合预报方法在天气预报业务中的应用,开发了具有自主知识产权的集合预报产品综合分析显示平台。以集合预报模式输出数据量大、气象图表显示效率和质量要求高两个主要需求为出发点,采用客户端服务器架构设计。服务器端将原始数据转换为产品数据以提高客户端执行效率。该文详细分析了平台关键技术,针对数据延时问题,轮询式数据处理技术实时检查原始数据变化状态并更新产品,采用生产者消费者互斥方法解决多线程锁死问题。为提高图表美观程度,动态页面布局显示技术对所有图形要素进行分类,并给出显示属性的抽象描述,结合图形渲染技术,实现了看图模式和出图模式的动态切换。该平台为预报员和服务决策者提供了宝贵的不确定性信息,在中小尺度极端天气预报、台风路径预报中发挥了重要作用。

关键词: 集合预报; 多模式集成; 不确定性天气预报

引 言

大气是一个混沌系统,其物理过程存在不确定性,集合预报相对于决定论式的确定性单一预报,能够更好地为预报员提供关于数值模式预报的不确定性信息以及极端天气出现的可能性信息,而确定性预报水平的提高变得越来越困难。因此,集合预报将在未来的天气预报业务中占有举足轻重的地位。

集合预报自 20 世纪 70 年代发展至今,已经取得了很重要成果。世界气象组织(WMO)已将集合预报、资料同化、耦合模式和高分辨率确定性数值模式列为 4 个最重要的数值天气预报技术。国际上从 20 世纪 70 年代开始集合预报研究^[1-2],90 年代业务化,以美国国家环境预报中心(NCEP)^[3-4]和欧洲中期天气预报中心(ECMWF)^[5]先后建立各自的集合预报业务系统为标志。集合预报研究最初主要针对初值扰动的集合^[6],随后,研究人员开始考虑模式的不确定性,同时提高数值模式的分辨率和增加集合成员的数量^[7-8]。国内的集合预报研究开始于

20 世纪 90 年代中期,发展十分迅速^[9-11]。到目前为止,集合预报方法已被应用于降水^[12-14]、热带气旋路径^[15-16]和温度^[17-18]预报中,模式研发工作也取得显著成果^[19]。

针对集合预报业务应用的紧迫需求,本文设计并实现了包含集合预报和多模式集成功能的综合分析显示平台 NUMBERS (NUmerical Model Blending and Ensemble foRecast System,本文简称为集合预报平台),以满足现代天气预报业务对集合预报的巨大需求。该平台的技术积累和研发经验将并入下一版 MICAPS^[20]中,成为 MICAPS 集合预报功能模块。

1 集合预报平台需求与设计方法

1.1 需求分析

1.1.1 集合预报数据特征

集合预报数值模式的输出数据量远大于确定性数值模式的输出数据量,体现在集合预报包含多个成员和更长的预报时效。表 1 对目前中央气象台和

2014-11-06 收到,2015-01-13 收到再改稿。

资助项目: 全国集合预报业务系统建设(一期)

* email: yulq@cma.gov.cn

表1 集合预报数据文件特征

Table 1 Characteristics of ensemble forecast data

特征	EC	T639	GRAPES_MESO	NCEP	CMC
数据格式	GRIB1	GRIB2	GRIB2	GRIB2	GRIB2
预报时效/h	0~360	0~360	0~72	0~384	0~384
延时/h	8~12	6	6	6~8	9~10
成员数量	51	15	15	21	21
分辨率	地面 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 高空 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$	$0.28125^{\circ} \times 0.28125^{\circ}$	$0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$	$1^{\circ} \times 1^{\circ}$	$1^{\circ} \times 1^{\circ}$
日数据量/GB	41.2	84.2	5.7	50	7.96
天气要素	地面 11 个, 高空 7 个	地面 24 个, 高空 6 个	地面 2 个, 高空 5 个	地面 27 个, 高空 6 个	地面 27 个, 高空 6 个

全国各省级气象台目前使用的5个集合预报模式的输出数据进行总结。

由表1可见,集合预报数据量大和延时时间长是两个最突出的问题。首先,目前投入业务使用的5个模式每天数据量为189.06 GB,其中T639模式因分辨率高且地理范围大而数据量最大。其次,数据延时时间较长,其中又以预报员最为看重的EC模式的时间延时最长,超过8 h。因此,集合预报平台必须具备在尽可能短的时间内迅速处理海量数据的能力。

1.1.2 可视化和产品生成

气象数据可视化一直是气象业务软件平台研究的核心技术。针对集合预报数据量大、图形显示形式多样化的特点,该软件平台需要提供基于图形处理器(GPU)硬件加速的快速可视化能力,以及包括天气系统图、邮票图、面条图、烟羽图、箱须图、玫瑰图等在内的多种图形显示功能。

在现代天气业务中,气象图表除供预报员分析天气系统使用外,还被用于公共气象服务、气象决策等多方面。因此,除了图形显示性能之外,图形显示质量也是软件平台必须研究的关键技术。此外,常用的气象图表需要每天由系统自动生成,而不是由业务人员手动生成。如针对MICAPS系统图形质量有待进一步提高问题,国家气象中心研发了基于商业软件ArcGIS的气象服务决策信息系统MESIS^[21],该系统实现了高质量气象图表的自动生成。然而,基于ArcGIS开发的MESIS平台在省市级气象台推广存在成本高的问题。此外,现有的通用GIS软件平台还没有专门的气象专用符号库、颜色集、产品制作模板等。因此,开发一个具备自主知识产权,成本低,内嵌气象专用符号、配色和模板的图形可视化模块也是平台中必不可少的一项工作。

1.2 架构设计

如图1所示,集合预报平台以客户端服务器(CS)

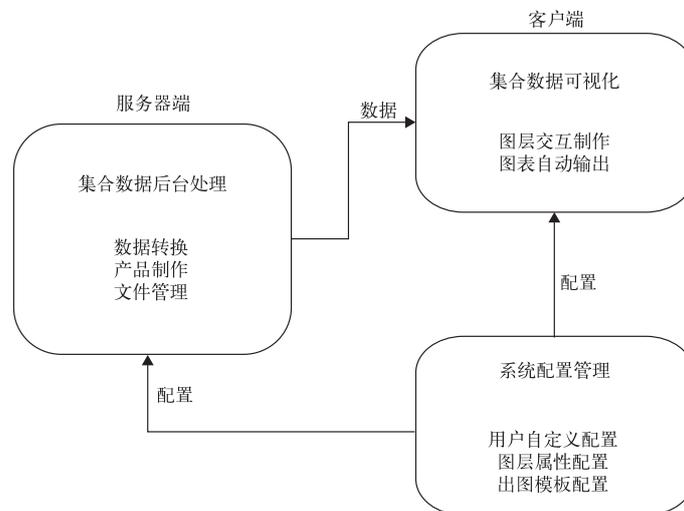


图1 集合预报平台的组成结构

Fig. 1 The architecture of ensemble forecast platform

架构设计,由服务器端和客户端两个部分组成,客户端又包括可视化交互程序和平台配置管理程序。

集合预报平台的后台服务器端主要是一个数据处理和产品制作程序,其功能是将国家气象信息中心的集合预报原始数据文件转换为以 MICAPS 或者 WMO GRIB 数据格式编码的集合预报产品数据文件,以提高前端交互系统的数据处理效率。集合预报数值模式输出的文件通常以 WMO GRIB 格式编码,由于文件中包含大量的天气要素、集成员、多个时次和层次的信息,因此,文件较大。如果客户端程序直接对集合预报原始数据文件进行处理,那么由于解码、数据提取、统计分析、产品生成等处理过程所用的时间较长,必定造成预报员工作效率降低。目前的解决方法是通过后台处理程序将原始数据转换为对应特定产品(如集合统计量、邮票图、箱须图等)、天气要素(气压、温度等)、时次和层次的数据文件,以提高前端客户端程序的执行效率。

客户端包括集合预报数据可视化交互程序和平台配置管理程序。其中,可视化交互程序实现集合预报产品数据文件的解析、多模式融合、可定制的地理信息显示、基于图层的产物可视化显示、图层交互属性设置以及气象图表的自动输出功能。其功能既可以由预报员交互完成,也可以通过配置模板程

序自动完成。

平台配置管理程序为用户提供了通过图形界面配置集合预报平台的所有参数,包括用户自定义选项,数据源路径、图层显示属性(配色、标题、图例等)、地图投影参数以及自动出图模板的功能,避免了用户手工修改配置文件所带来的繁琐和易错问题。

1.3 运行流程

在集合预报平台开发的同时,国家气象信息中心建设了集合预报业务数据存储与应用支持系统,通过购置硬件数据服务器设备,实现集合预报业务海量数据在国家级和省级的有效存储和传输。此外,针对网络带宽有限的问题,国家气象信息中心在提供全球数据资料的同时,还下发经过裁减后的中国临近区域资料,并以 ftp 和 CMACast 两种形式下发到省台。这些工作保证了集合预报平台中的数据

处理任务执行前,模式数据文件能够按时到位。图 2 给出了我国集合预报业务系统的总体组织结构和数据操作流程。首先由国家气象信息中心进行集合预报原始数据的采集,将原始的全球数据和裁剪后的区域数据同时存储到数据服务器中。通过 CMACast 广播或者 ftp 下载两种方式将数据下发到中央气象台和省级气象台的数据服务器上。集合预报平台处理数据并生成3种产品:常规产品包括

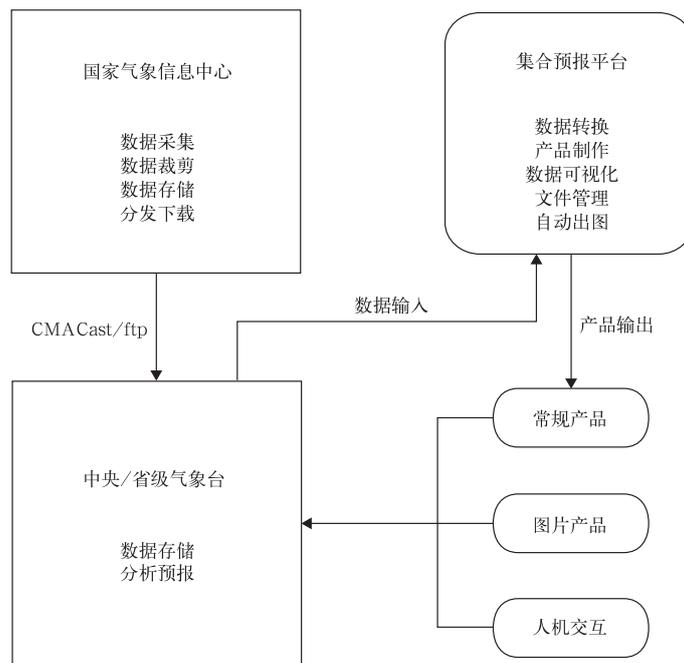


图 2 我国集合预报业务系统总体组织结构和数据操作流程

Fig.2 The structure of national ensemble forecast operation system and flow of ensemble data

邮票图、概率预报等主要集合预报产品,图片产品是根据气象图表制作模板自动生成的图像文件,人机交互指预报员通过客户端程序以交互的方式生成集合预报图层。

1.4 功能设计

1.4.1 原始数据转换为产品数据

集合预报平台的后台数据处理程序具备 WMO GRIB 数据文件的解码功能,同时在转换过程中根据用户设置进行区域裁减。目前支持的集合预报模式有欧洲中心 ECMWF-ENS、中国的 T213-GEPS、T639-GEPS 和 GRAPES_MESO-REPS、美国的 NCEP-GEFS 和加拿大的 CMC-GEPS。计算输出的物理量有海平面气压、位势高度、温度、风、相对湿度、垂直速度、比湿、降水、天空云量、对流有效位能。集合预报产品包括统计量(平均值、离散度、最小值、最大值、中位数)、概率预报、邮票图、面条图、箱须图和烟羽图。

考虑到第 1.1.1 节中讨论的集合预报数据量大和延时时间长的问题,数据处理程序针对 64 位计算机系统采用多线程并发执行方式,以缩短处理时间。

1.4.2 多模式集成

多个确定性数值预报模式按照预先给定的权重系数进行融合。集合预报平台会根据数值模式预报检验结果给出建议的权重融合系数,同时为用户提供以交互方式更改权重融合系数的功能。

1.4.3 基本的地理信息功能

集合预报平台中集合预报数据可视化交互程序提供常用的地理信息功能,包括地形、城市名称,洲际、国家、地市级边界显示,底图的缩放与漫游,地图投影参数设置,根据比例尺大小分级显示,给定区域内显示功能。

1.4.4 数据可视化显示与用户交互分析功能

集合预报平台中集合预报数据可视化交互程序支持集合预报数据的多种显示方式,包括等值线图、填色的等值线图、面条图、邮票图、风场流线图、风羽图、站点序列箱须图和烟羽图。所有图形显示均以图层的方式进行组织和管理,实现多模式、多要素的图层叠加。图层操作包括显示、隐藏、删除、导出数据和属性修改。

系统提供按照时间序列跳转到指定预报时效、前后翻页和动画功能,其中,翻页时间步长和动画时

间间隔可定制。

灵活的可配置性也是集合预报平台的一个特色。用户可以设置集合预报产品数据文件的存放路径,显示或者隐藏交互子窗口。程序提供了交互式的产品制作方式。交互选项包括起报时间和预报时效的设置、模式选择与融合系数的调整、选择产品种类和子类、天气要素及层次。与站点序列有关的图层可以从地图上选择站点。所有用户设置均被保存于配置文件。在下次用户会话中,程序将自动读取配置文件的内容,从而恢复上一次会话设置。

1.4.5 页面布局设置与后台自动出图功能

集合预报平台中集合预报数据可视化交互程序增加了自动出图功能。用户使用集合预报平台配置管理程序,通过配置集合预报图表对应的模板内容,包括预报时效、预报时段长度、模式中心、天气要素、产品显示方式、产品类别、产品参数、层次,可以方便地指定自动输出的图表文件。以后台定时作业的方式在指定的时间得到图形产品文件。

2 集合预报平台关键技术

2.1 开发方法

集合预报平台的软件系统结构采用层次化、模块化设计方法。使用 C++ 语言开发,具有原生程序所特有的速度快、系统资源需求低的优点。用户界面使用 Qt 库以实现跨平台,能够运行在 Windows, Linux 和 SGI Irix 操作系统上。采用 OpenGL 硬件加速显示技术,以提高图形图像渲染速度。资料分析中的物理量计算、等值线分析、流线分析、集合成员统计和概率计算等均使用自主技术。

2.2 轮询式数据处理

在服务器端数据处理程序的早期实现中,采用了集中式处理方法,即所有数据文件到齐后一起处理,该方法的缺点是产品文件时效性差,因此,改为轮询式处理方法。与集中式处理相比,轮询式处理方法对应的算法复杂,实现难度较大,需要处理以下问题:①需要具备自我恢复功能。由于轮询式处理程序需要长时间保持运行状态,当程序异常退出时,需要重新启动。本文采用方法是定时启动脚本程序检查处理程序进程是否存在。②检测新文件的出现和已有文件是否被更新。为此,程序内部需要维护

一个文件列表,列表中保存所有文件的属性,包括名称、最新修改时间、大小等。③时间序列产品的数据缓存。对于箱须图、烟雨图这种时间序列产品,程序内部需要保存已有的计算结果。④防止文件更新线程与数据处理线程之间产生锁死。由于数据处理采用多线程,因此,程序需要保证主线程的文件更新检测与辅助线程的数据处理没有冲突。这里采用生产者消费者互斥方法。

2.3 页面布局显示技术

生成高质量的气象图表,需要对所有图形要素进行分类并给出每一类特有的显示属性。图形要素包括以图层方式组织的图形对象、标题、图例、插图、坐标及其说明文字等。显示属性包括位置、大小、配

色等。本文将图形要素在程序窗口中的显示位置与大小称为页面布局。

某些气象信息可视化软件(如 MICAPS)没有页面布局功能。这时底图充满整个窗口,一些必要的图形要素(如图例、插图等)直接叠加显示在底图上。这种传统显示方式的优点在于显示区域面积较大,从而给用户传达的信息量也较大。集合预报平台客户端可视化程序保留了这种传统的显示方式,并称之为看图模式。同时新增了包括页面布局显示功能的出图模式。

图 3 为出图模式下的显示效果。窗口上方为标题区,右侧为图例区,中间为画布(Canvas)区。画布区左侧和下方分别是纵坐标文字区和横坐标文字区。

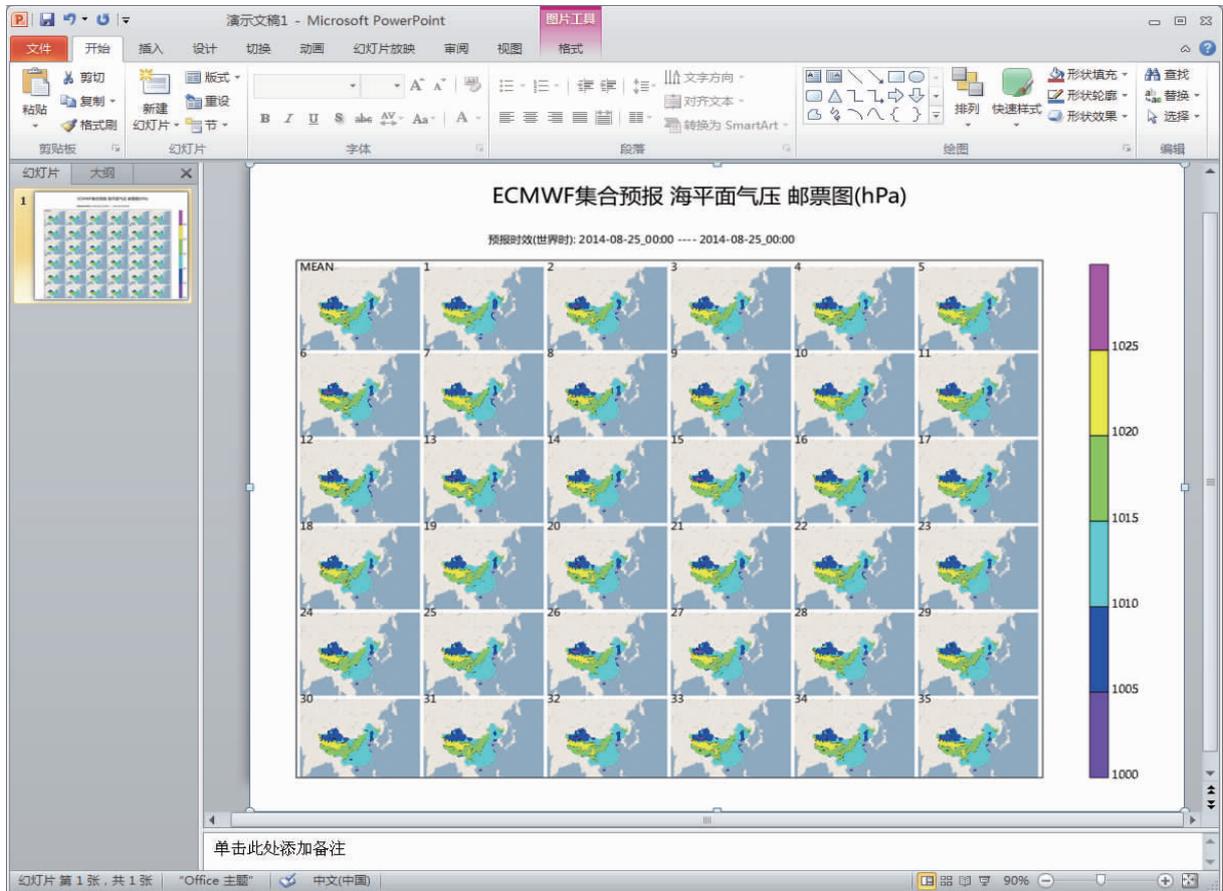


图 3 出图模式下的显示效果

Fig. 3 The rendering result in map export view

标题区显示标题,客户端程序允许用户设置主标题和副标题的内容,同时指定字体、字号、字型,颜色,方位走向。图例区显示图形对象的图例,常见的图例有填色等值线,地形图、卫星云图和雷达拼图纹

理的色斑条,天气图表中的符号说明等。用户可以设置色斑条的样式、方位和色斑条中的每个分段的颜色与文字。画布区显示所有图层对象,在看图模式下画布区充满整个窗口。纵坐标文字区为纵坐标

的文字说明,当画布区显示地图时,通常使用纬线的刻度值作为纵坐标文字。横坐标文字区为横坐标的文字说明,当画布区中显示地图时,通常使用经线的刻度值作为横坐标文字。

用户可以通过用户界面控件在两种布局视图中进行一键式切换,并使用“页面布局设置”对话框改变以上5个区域的位置和大小。除横坐标文字区和纵坐标文字区通常位于画布区下方和两侧外,其余区域中任意两个区域之间可以相交或者重合。

除了页面布局显示外,客户端可视化程序还提供了将显示内容以图像文件的形式保存到磁盘或者系统剪贴板的功能。这样,预报员可以轻松地

形粘贴到字处理和演示软件中(如图3所示)。

2.4 集合预报平台配置管理

在集合预报业务中,中央气象台、省级气象台、地县级气象站之间存在工作重点各异,数据环境不一致以及预报产品服务对象不同等多方面的差异。为了满足特殊需求,集合预报平台本身以配置文件的形式为用户提供了大量参数。然而,配置文件的存在也给用户带来了维护上的压力。为此,在1.1版本中新增了“集合预报管理”程序(图4),该程序为用户提供了通过图形界面配置集合预报平台所有参数的功能,避免了手工修改配置文件所带来的繁琐和易错问题。



图4 集合预报管理程序中的图像文件输出和数据文件管理功能

Fig. 4 Product image export and file management features by the ensemble forecast management program

集合预报管理程序包括图像文件输出和数据文件管理两个功能。图像文件输出即自动出图,根据业务需要每天定时生成产品图像文件。表格中每一行对应了某一产品图像文件的模板,包括预报时效、预报时段长度、模式中心、天气要素、产品显示方式、产品类别、产品参数、层次共8个参数。用户可以直接在单元格中修改模板参数。数据文件管理主要是

设置产品文件在用户数据服务器上的保留时间,免除了用户手动删除文件的麻烦。

3 集合预报平台业务应用

2013年9月集合预报平台正式在中央气象台和省级气象台投入业务运行。经过持续的维护、升

级和推广,该平台已经成为气象预报业务重要的支持工具之一,并成为推动气象现代化建设的重要增长点。在定量降水预报业务,预报员通过多种降水的统计量产品分析降水的不确定性、极端值以及最有可能出现的预报结果。中期预报业务中,预报员利用集合产品制作未来 10 d 的天气预报,并分析环流形势的不确定性,判别持续异常或转折性天气。此外,集合预报 10~15 d 产品和月预报产品成为延伸期预报的主要参考。灾害性天气业务中,预报员借助要素概率、极端天气指数进行灾害性天气早期

预警;站点预报保障业务中,单点箱须图、烟羽图等产品成为预报员参考最多的产品;台风海洋预报业务中,集合预报提供关于路径预报的不确定性、最有可能路径预报、强度变化时序等重要参考。强对流潜势预报业务中,集合预报提供的对流参数概率产品成为强对流概率预报业务产品的重要参考之一。此外,集合预报产品成为全国早间天气会商中预报首席参考的主要产品之一。图 5 是该系统在业务应用中显示箱须图时的运行实例。

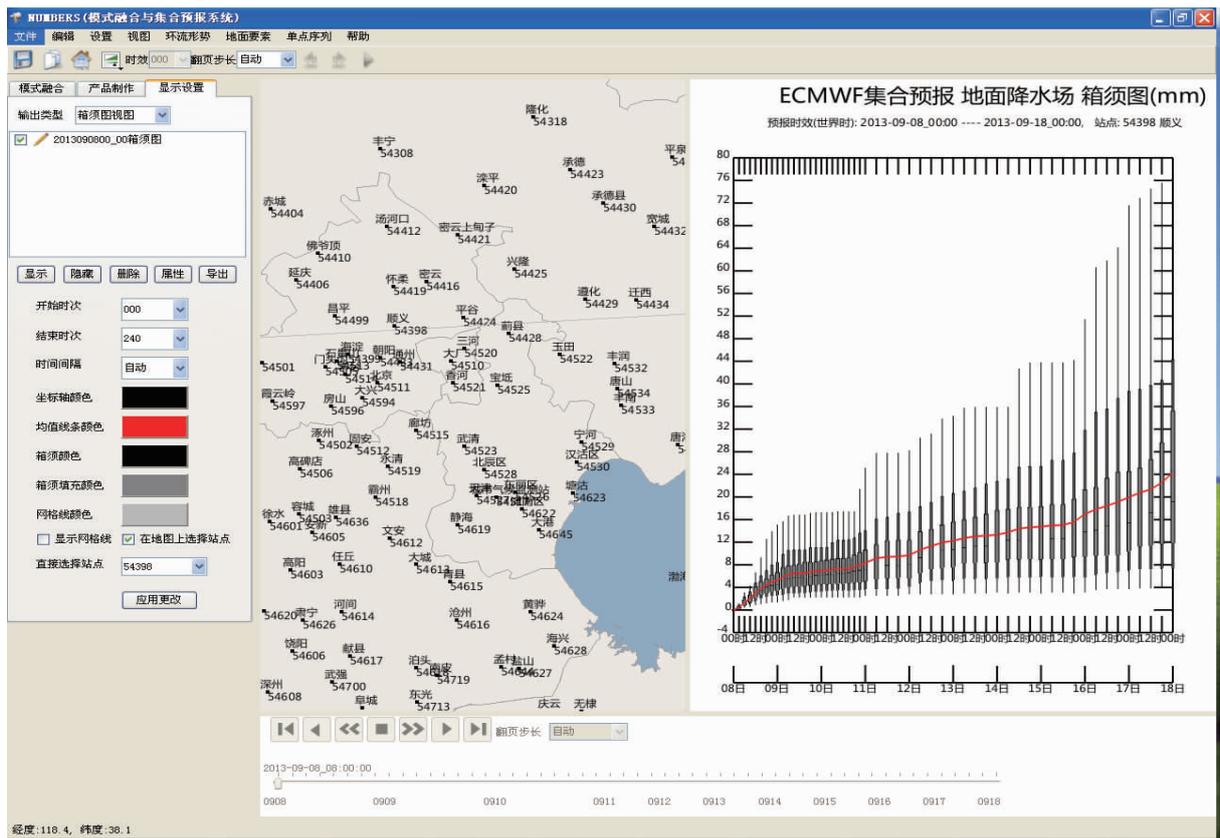


图 5 集合预报平台在天气预报业务应用中显示箱须图时的运行实例

Fig. 5 The box-whisker graphics rendered in ensemble forecast platform for weather forecast operation

4 小 结

本文从软件开发设计角度对集合预报平台的架构设计和技术实现进行详细讨论:

1) 集合预报平台软件系统采用客户端服务器架构设计,服务端器的数据处理程序将海量集合预报原始数据转换为产品数据以提高客户端程序的执

行效率。客户端可视化交互程序实现产品数据的分析显示和气象图表的输出。配置管理程序通过图形界面为用户提供了配置集合预报平台的所有参数和自动出图模板的功能。

2) 针对我国各气象台站计算机硬件资源差异较大的实际情况,集合预报平台实现跨平台支持。

3) 为提高集合预报平台的图表输出质量,提出了独具创新性的页面布局显示技术,通过对图形对

象、标题、图例、插图等要素的灵活配置和一键式便捷操作,供预报员高效生成高质量气象图表。

4) 集合预报信息有效提炼也是提高气象业务人员工作效率的有效手段。集合预报平台集成了现代的集合预报算法和图形图像显示技术,支持常用的集合统计、概率统计、邮票图、面条图、烟羽图、箱须图等多种产品。

今后,集合预报平台将增加国内外集合预报研究发展的最新成果,支持本地化二次开发和插件,增加对台风海洋、强天气预报等专业预报的支持,建立集合预报检验功能,进一步完善交互功能和效率。

参考文献

- [1] Epstein E S. Stochastic dynamic prediction. *Tellus*, 1969, 21(6): 739-759.
- [2] Leith S C. Theoretical skill of Monte Carlo forecasts. *Mon Wea Rev*, 1974, 102(6): 409-418.
- [3] Tracton S M, Kalnay E. Operational ensemble prediction at the National Meteorological Center. *Wea Forecasting*, 1993, 8(3): 379-398.
- [4] Tracton S M, Du J. Short Range Ensemble Forecasting (SREF) at the National Center for Environmental Prediction//WMO Workshop on the Use of Ensemble Prediction. 2000.
- [5] Molteni E, Buizza R, Palmer T N. The ECMWF ensemble prediction system: Meteorology and validation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1996, 122: 73-119.
- [6] Toth Z, Kalney E. Ensemble forecasting at NMC: The generation of perturbations. *Bull Amer Meteor Soc*, 1993, 74(12): 2317-2330.
- [7] Buizza R, Palmer T N. Impact of ensemble size on ensemble prediction. *Mon Wea Rev*, 1998, 126(9): 2503-2518.
- [8] Szungogh I, Toth Z. The effect of increased horizontal resolution on the NCEP global ensemble mean forecasts. *Mon Wea Rev*, 2002, 130(5): 1125-1143.
- [9] 杜钧. 集合预报的现状与前景. *应用气象学报*, 2002, 13(1): 16-28.
- [10] 李泽椿, 陈德辉. 国家气象中心集合数值预报业务系统的发展及应用. *应用气象学报*, 2002, 13(1): 1-15.
- [11] 段明铿, 王盘兴. 集合预报方法研究及应用进展综述. *南京气象学院学报*, 2004, 27(2): 279-288.
- [12] 李俊, 杜钧, 王明欢, 等. 中尺度暴雨集合预报系统研发中的初值扰动试验. *高原气象*, 2009, 28(6): 1365-1375.
- [13] 王晨稀, 姚建群, 梁旭东. 上海区域降水集合预报系统的建立与运行结果的检验. *应用气象学报*, 2007, 18(2): 173-180.
- [14] 陈静, 薛纪善, 颜宏. 一种新型的中尺度暴雨集合预报初值扰动方法研究. *大气科学*, 2005, 29(5): 717-727.
- [15] 黄小刚, 费建芳, 陆汉城. 基于集合 Kalman 滤波数据同化的热带气旋路径集合预报研究. *大气科学*, 2007, 31(3): 468-478.
- [16] 张庆红, 张春喜, 张中锋, 等. 热带气旋集合预报中的不确定性研究. *地球物理学报*, 2007, 50(3): 701-706.
- [17] 陈法敬, 矫梅燕, 陈静. 一种温度集合预报产品释用方法的初步研究. *气象*, 2011, 37(1): 14-20.
- [18] 王敏, 李晓莉, 范广洲, 等. 区域集合预报系统 2 m 温度预报的校准技术. *应用气象学报*, 2012, 23(4): 395-401.
- [19] 邓国, 龚建东, 陈静. 国家级区域集合预报系统研发和性能检验. *应用气象学报*, 2010, 21(5): 513-523.
- [20] 李月安, 曹莉, 高高, 等. MICAPS 预报业务平台现状与发展. *气象*, 2010, 36(7): 50-56.
- [21] 吴焕萍, 罗兵, 王维国, 等. GIS 技术在决策气象服务系统建设中的应用. *应用气象学报*, 2008, 19(3): 380-385.

Research and Implementation of Ensemble Forecast Product Analysis and Display Platform

Yu Lianqing Li Yuean Gao Song Luo Bing

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

In response to the impendent requirement of ensemble forecast applications in modern weather forecast operations, an ensemble forecast product analysis and display platform named NUMBERS (NUmerical Model Blending and Ensemble foRecast System) is developed. The application background, requirement analysis, design of system architecture and function implementation are discussed in details. In addition, some key technologies such as dynamic page layout rendering and data pooling, are also described.

First of all, the ensemble forecast platform is designed using the client-server architecture. On the server side, there is a data processing program that converts large amounts of ensemble numerical model output into product data to ensure the performance of client data visualization program. On the client side, there is a data visualization program and a management console program. The data visualization program provides features including ensemble product data analysis, blending of multiple deterministic models, customized geographic information service, layer-based graphics rendering, interactive configuration of graphics layers, and exporting of weather maps. The management console program provides a unified user interface to help users manage all settings of the platform.

As there is a large difference in computing resource throughout the meteorology department, the ensemble forecast platform is designed to be cross-platform by employing a modular and stratified design approach with C++ is programming language.

In order to enhance graphics rendering quality of weather maps, an innovative page layout rendering technique is proposed, allowing a flexible configuration of graphics elements like layers, titles and legends and creation of professionally-looking weather maps.

As an effective abstraction of ensemble data may significantly improve working efficiency of forecasters, advanced ensemble prediction algorithms and graphics rendering technologies are incorporated into the platform, which support nearly all popular products including statistics quantities, probability forecast, stamps, spaghetti, plume and box-whiskers.

Since September 2013, the platform has been put into operation in central meteorological observatory and nearly all observatories of province capitals. Ever since, the platform is further improved by adding new features and fixing bugs based on user feedbacks.

In the future, the platform will be improved by incorporating the latest algorithms in ensemble prediction, enhancing support for professional forecast such as typhoon track prediction and short-term strong weather prediction, introducing ensemble prediction validation and improving interactive performance. Furthermore, all the features of the platform will be incorporated into the fourth edition MICAPS, which will play an important role in flourishing China ensemble forecast applications and improving operational capability.

Key words: ensemble forecast; model blending; uncertainty weather forecast