

长三角地区雷达同步观测组网拼图技术研究及实现

林红¹, 华韵子¹, 秦虹²

(1.上海中心气象台, 上海 200030;

2.上海市气象信息与技术支持中心, 上海 200030)

摘要: 针对短时临近天气预报对多普勒天气雷达资料的高实时性要求, 基于雷达组网同步观测、基数据采集和实时传输技术支持, 设计研发了长三角地区12部雷达的三维组网拼图系统。系统运行稳定可靠, 拼图时效提高20分钟以上。

关键词: 雷达拼图; 同步观测; 质量控制

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A

Research and Implementation of Radar Synchronous Observation and Mosaic Technology in the Yangtze River Delta Region

LIN Hong¹, HUA Yunzi¹, QIN Hong²

(1. Shanghai Central Meteorological Observatory, Shanghai 200030, China;

2. Shanghai Meteorological Information and Technology Support Center, Shanghai 200030, China)

Abstract: Aiming at the high real-time requirements for Doppler weather radar data in term of forecast and nowcasting, based on the support of radar synchronous observation, base data acquisition and real-time transmission technology, the paper designs and develops a three-dimensional radar mosaic system for the 12 radars in the Yangtze River Delta region. The system runs stably and reliably, and the efficiency of the mosaic radar is increased by more than 20 minutes.

Keywords: radar mosaic; synchronous observation; quality control

1 引言(Introduction)

随着社会发展、气象科技进步和预报服务需求不断提高, 对强对流天气预报预警能力的要求越来越高, 而临近预报对多普勒天气雷达资料的实时性有较强的依赖性。由于雷达基数据的数据量大且时间分辨率高, 对数据传输及同步时效提出了很高的要求。目前长三角地区新一代天气雷达网的资料是各雷达站观测采样后, 通过省局传输至中国气象局, 再由中国气象局向各省气象局广播接收, 时间滞后明显, 无法满足气象服务对短临预报的精细化需求。本项目针对2018年上海进口博览会和长三角地区强对流天气联防和预警业务的需要, 参考目前雷达质量控制^[1,2]和网格化^[3]方法, 基于雷达组网同步观测、基数据采集和实时传输^[4]技术支持, 设计研发了长三角地区12部新一代天气雷达的三维组网拼图系统, 大幅度提高雷达拼图时效。

2 业务流程及关键技术(Business processes and key technology)

2.1 业务流程



图1 同步观测组网拼图业务流程

Fig.1 Synchronous observation and Radar mosaic business process

本项目选取长三角地区12部雷达进行同步观测并组网拼图, 其中上海1部(青浦)、江苏6部(南京、南通、盐城、徐州、连云港、常州)、安徽2部(合肥、阜阳)、浙江3部(杭州、湖州、宁波)。12部雷达同时启动观测, 通过流传输、文件化处理保存上海数据服务器中, 拼图程序实时从服务器读取

数据完成三维组网拼图。

图2为雷达数据处理层的流程框架图，该层主要是数据接口和核心算法。首先读取各雷达观测数据，借鉴目前雷达质量控制^[1,2]和网格化^[3]方法，采用并行处理技术进行多部雷达资料的质量控制，并转化为单雷达的三维网格数据。通过雷达组网模块，生成雷达反射率的三维组网数据，并生成组合反射率、回波顶高等拼图产品。在处理过程中根据时次自动判读是否有数据缺失，如有则进行补算，以保证产品的连续性。

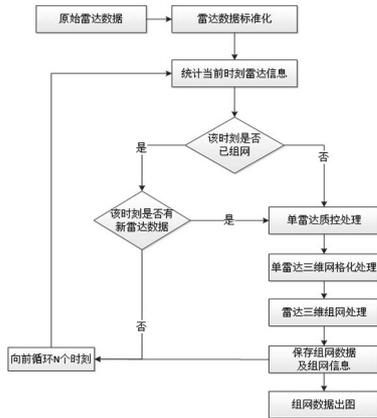


图2 数据处理层流程框架图

Fig.2 Process framework of data processing layer

2.2 关键技术

(1) 雷达同步观测传输技术

为降低天气雷达资料的探测时间误差，以保证用于短时临近预报分析的雷达数据具有较高的可靠性和数据到达的及时性，采用雷达数据同步观测及数据流传输实时获取雷达三维探测数据。

时钟同步：通过宽带网时钟同步服务器给全网络提供时间服务，用于校准省级流传输服务器的时间，服务器通过网络再将时间同步到各雷达站的RDASC计算机上，以保持各雷达基准时间的完全一致，考虑到网络延迟的因素，整网时间服务的精度可达500ms。各雷达站与省级流传输服务器直接建立TCP/IP连接，带宽要求500kbps以上，实际占用250kB以下。

雷达数据流传输流程：如图3所示，雷达站在扫描的同时输出标准格式雷达基数据流，数据流通过专用宽带网同步传送到各省自己的省级传输服务器，省级传输服务器通过专用宽带网同步转发到上海传输服务器，经过文件化处理生成标准格式逐仰角(PPI)体扫文件和全体扫文件，生成的文件保存到上海数据库服务器中，通过标准接口提供给业务应用系统使用。

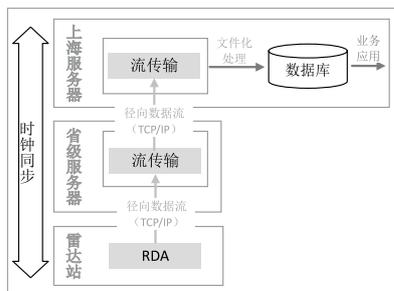


图3 组网天气雷达数据流传输流程

Fig.3 Radar data transmission process

(2) 雷达数据质量控制

雷达回波除降水产生的回波外，一些昆虫、鸟群、异常传播(AP)、地物(GC)等都会产生回波，这些非降水回波我们称之为杂波。杂波对雷达资料的应用准确性会产生很大的影响，去除杂波是雷达数据质量控制的首要任务。

本文采用了参考平面法进行质量控制。参考Zhang J等人^[1]提出的方法，利用降水回波和非降水回波具有不同的水平反射率结构和垂直反射率结构的特性来识别和删除杂波。

反射率水平结构特征值用TDBZ度量，表示为：

$$TDBZ = \frac{\sum_{j=1}^{ngates} \sum_{i=1}^{nrays} (Z_{ij} - Z_{i,j-1})^2}{N} \quad (1)$$

其中*i*、*j*分别是反射率库在方位和距离方向上的序号值，*Z*代表反射率值，单位dBZ，*nrays*和*ngates*表示以给定库为中心的方位和距离的库的个数。*N=nrays*ngates*表示参与计算的方位和距离库的总个数。*nrays*和*ngates*缺省值均为7。

垂直反射率结构特征值用VTDZ度量，表示为：

$$VTDZ = (Z - Z_{URT}) / (H_{URT} - H_Z) \quad (2)$$

其中，*Z*是需要检查的反射率值，*Z_{URT}*是参考平面的反射率数值。*H_Z*和*H_{URT}*分别是*Z*和*Z_{URT}*的相对应的高度。*VTDZ*单位是dBZ/km。

选择3km高度平面作为参考平面。在参考平面以下，用反射率因子垂直梯度识别杂波，如果给定库的*VTDZ*值比阈值大(18dBZ·km)，则认定该库值为杂波值并删除它。在参考平面上，用反射率因子水平梯度识别杂波，如果给定库的*TDBZ*值比阈值大(24dBZ/km)，则认定该库值为杂波值并删除它。

经过效果验证，参考平面法对于固定地物杂波和近距离处AP地物杂波抑制效果明显。

(3) 格点化插值方法

雷达基数据是以雷达为中心的球坐标存储的，即通过方位和径向距离、仰角三个要素来识别其空间几何位置，拼图前需要先将各雷达站反射率资料进行格点化处理，将球坐标系下的空间分布不均匀的雷达资料插值到笛卡尔坐标系下的空间分辨率均匀的网格点资料。为了实现网格化，我们利用笛卡尔坐标系下网格点的经度、纬度、高度计算出其在球坐标系中径向距离、方位和仰角，根据计算出的径向距离、方位和仰角在雷达球坐标系中的位置，采用8点插值法得到该网格点的分析值，较好地保留了体扫资料中原有的反射率结构特征。

设某一网格点在雷达球坐标系中的位置坐标为(*r, a, e*)，*r*为径向距离，*a*为方位角，*e*为仰角。网格点(*r, a, e*)落在临近该网格点的8个雷达距离库*Z₁^o*(*r*₁, *a*₁, *e*₁)、*Z₂^o*(*r*₂, *a*₁, *e*₁)、*Z₃^o*(*r*₁, *a*₂, *e*₁)、*Z₄^o*(*r*₂, *a*₂, *e*₁)、*Z₅^o*(*r*₁, *a*₁, *e*₂)、*Z₆^o*(*r*₂, *a*₁, *e*₂)、*Z₇^o*(*r*₁, *a*₂, *e*₂)、*Z₈^o*(*r*₂, *a*₂, *e*₂)围成的锥体内，如图4所示。网格点(*r, a, e*)的反射率分析值由这8个临近点的观测值进行反权重插值得到，计算见公式(3)。

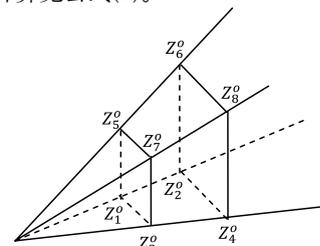


图4 8点反权重插值示意图

Fig.4 An illustration for eight point interpolation

$$Z^a(r, a, e) = \sum_{i=1}^8 w_i Z_i^o \quad (3)$$

其中, w_i 为各观测点的权重值, 权重计算公式:

$$w_i = d_i / \sum_{j=1}^8 d_j, \sum_{i=1}^8 w_i = 1 \quad (4)$$

d_i 为各雷达库到网格点的距离:

$$d_i = \sqrt{(r_i - r)^2 + (a_i - a)^2 + (e_i - e)^2} \quad (5)$$

(4)重叠区域的拼图处理方法

雷达三维拼图的任务是将单站雷达经过格点化处理后形成的反射率格点场进行拼接。在拼图网格范围内有很多区域存在来自多部雷达的多个探测值, 对于重叠区域的处理, 系统设计了最大值法和指数权重法, 在系统中可以自由配置。

(a)最大值法是从覆盖同一网格单元的多部雷达反射率值中取最大值, 简单计算公式如下:

$$Z^m(i) = \max_{1 < n < N} Z_n^a(i) \quad (6)$$

在日常业务应用中更为关注的是强回波造成的影响, 所以最大值法是经常应用的重叠区处理方法之一。

(b)拼图网格中每个网格的反射率分析值通过下面公式计算:

$$Z^m(i) = \sum_{n=1}^N w_n Z_n^a(i) / \sum_{n=1}^N w_n \quad (7)$$

其中, $Z^m(i)$ 是网格单元*i*的合成反射率值, $Z_n^a(i)$ 是第*n*个雷达在网格单元*i*处的反射率分析值, w_n 是给 $Z_n^a(i)$ 的权重。*N*为在网格单元*i*处有分析值的雷达站数。指数权重法是基于单个网格单元和雷达之间的距离, 采用指数函数计算覆盖该网格的各雷达站反射率值的权重, 指数权重公式如下:

$$w = \exp\left(-\frac{r^2}{R^2}\right)$$

其中, *R*为适当的长度比例, 本文取*R*=100, *r*为网格点到雷达的距离。

指数权重函数使得权重随距离快速下降, 有效保留了原始雷达资料中近距离处的高分辨率特征, 同时权重值是一个正值, 确保雷达能影响到它所覆盖的区域。指数权重法可以得到没有明显不连续现象的拼图结果。

3 系统实现(System implementation)

系统采用JAVA进行开发, 并行作业设计^[5,6]。用户通过业务逻辑管理模块(图5)依据需求生成配置和工作进程脚本, 调用数据处理层算法模块启动作业, 包括单雷达作业、拼图作业等, 可以根据需求, 定时启动作业, 为业务系统提供雷达拼图产品; 也可以单独启动, 处理历史数据, 用于测试及个例的研究。

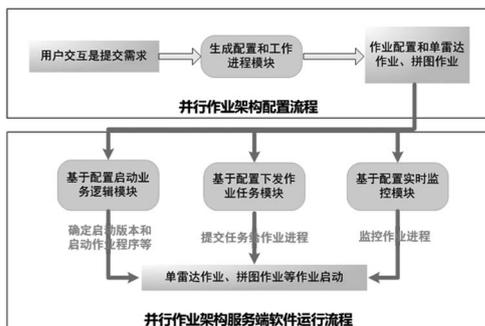


图5 业务逻辑管理模块

Fig.5 Business logic management module

生成的拼图产品纬度范围: 26.5—35.6, 经度范围: 115.1—124.4, 水平和垂直分辨率: 1km, 时间分辨率: 6分钟。拼图产品包括等高层反射率(1km、3km、5km、7km、9km)、基本反射率(0.5度、1.5度、2.4度)、组合反射率、垂直液体水含量、回波顶高。图6为2019年05月13日13时18分启动观测的雷达拼图产品示例(CAPPI 3km/回波顶高/垂直液态水含量)。

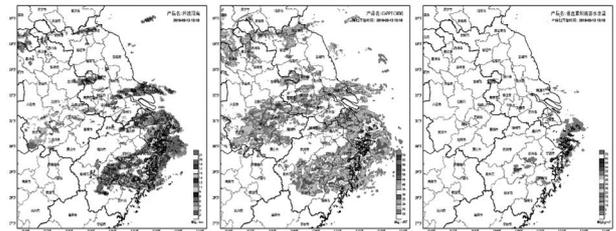


图6 雷达拼图产品示例

Fig.6 Example of radar mosaic product

4 结论(Conclusion)

本项目实现了长三角地区12部雷达的同步观测三维组网拼图, 实时输出等高层反射率、基本反射率、组合反射率、垂直液体水含量、回波顶高等拼图产品, 系统运行稳定。同步观测和流传输有效保证了雷达数据到达的及时性, 而并行作业设计充分利用多核CPU和大内存大幅度提高了拼图效率。1.5度仰角的基本反射率拼图产品在启动观测的3分钟左右可以显示在页面上供用户查阅, 其他CAPPI、组合反射率等产品在体扫结束1分钟内完成, 拼图时效提高20分钟以上。

参考文献(References)

- [1] Zhang J, Wang S, Clarke B. Wsr-88d reflectivity quality control using horizontal and vertical reflectivity structure [C]. 11th conference on aviation, range and aerospace meteorology. Hyannis, 2004:54.
- [2] 陈媛, 陈江民, 毛紫阳, 等. 天气雷达反射率基数据质量控制的几种算法[J]. 气象与减灾研究, 2007, 30(3):48-51.
- [3] 谢千里, 李百锋. 天气雷达三维栅格化拼图算法[J]. 装备制造技术, 2018(05):193-195.
- [4] 国家气象信息中心. 组网天气雷达数据流传输试验实施指导书[S]. 2017, 05.
- [5] 刘军, 李威, 吴梦婷, 等. Hadoop平台下新型图像并行处理模型设计[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(6):186-190.
- [6] 向怀坤. 大数据分布式并行处理技术-基于天云星数据库的交通管理大数据处理[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 2018.

作者简介:

林 红(1966-), 女, 硕士, 高级工程师. 研究领域: 气象行业软件开发.
 华韵子(1981-), 女, 硕士, 高级工程师. 研究领域: 气象行业软件开发.
 秦 虹(1973-), 男, 大专, 高级工程师. 研究领域: 气象信息技术研发.