

数字化天气雷达联网拼图与卫星云图综合实时处理系统

万玉发 陈少林 罗建国

(武汉中心气象台, 430074)

提 要

在 MYTRONS 系统的综合处理环节中,设计和研制成功具有双重功能的 MYWMS 系统。它不仅象 FRONTIERS 工作站一样,能综合处理雷达网和卫星图象,作出云雨场的分析和外推预报,而且还具有长江中游雷达网自动拼图的中央处理功能。

关键词: 雷达联网 综合工作站 云雨分析 外推预报

引 言

长江中游地区汛期多暴雨,监测和预报降水是该地区的主要目标之一。在认真吸取 FRONTIERS 经验的基础上,充分联系我国及长江中游地区的特殊条件,研制和开发了一个既具有雷达网络中央拼图处理功能,又具有云雨场综合分析预报功能的富有特色的短时降水预报自动化系统(简称 MYWMS)^[1],以作为 MYTRONS 的中枢工作站。本文介绍其功能、技术要点及使用效果。

1 系统功能及运行特性

1.1 在 MYWMS 系统中,采用 386 微机,选取由 UNIX 系统演变而来的 SCOXENIXV 操作系统。系统具有如下特点和功能:

- ① 雷达联网拼图和云雨分析预报工作站合而为一,以节约资金和充分发挥机器效率;
- ② 通过多路通讯方式,具有实时快速接收 6 部雷达和 1 路卫星资料的能力;
- ③ 具有数据获取、处理显示、分析预报和产品分发等多道任务运行的能力;
- ④ 具有与图象工作站相当的大屏幕高分辨显示能力;

⑤ 具有多种产品进入局域网和微机远程终端网的分发能力。

1.2 MYWMS 应用软件系统的一个重要技术特点是在 XENIX 分时系统的条件下,充分保证系统运行的实时性:既要保证自动、定时、快速接收 6 部雷达站和 1 路卫星(双谱 IR/VIS)图象数据的可靠性,又要做到多种图象产品处理、显示、存档、分发的高效率(并行)运行。为此,系统设计了两种运行方式(实时运行和选择运行),并由时钟机构自动控制这两者的转换。系统完全自动化并可全天候连续运行,做到拼图每半小时 1 次,和卫星重叠合成处理 1 小时 1 次,从雷达开始扫描到拼图或重叠图显示出来只需 7 分钟左右。系统采用中文菜单驱动结构,操作使用十分简便。

1.3 MYWMS 系统可提供丰富多样的产品,产品可分成为 3 大类和近 40 小类。

1.3.1 云雨图象一般产品(实时或选择方式下均可)

- ① 卫星云图(VIS、IR);
- ② 雷达拼图(RADC);
- ③ 重叠图(IR+VIS+RADC);
- ④ 组合图象(VIS、IR、IR+RADC、RADC)。

对这些产品可进行多幅(4或16)并列显示和循环动画显示;同时可改变显示调色板(4种方式),改变投影方式(麦卡托、兰勃脱),改变雷达覆盖重叠区处理方式以及进行放大漫游等。

1.3.2 云雨图象分析产品(选择运行方式下进行)

①无杂波雷达拼图。通过手动 Mouse、卫星云图门限及杂波文件等方法,消除各种非降水回波,以达到净化雷达回波图象的目的。

②勾划卫星 VIS 等值线图,从而形成 IR + VIS + RADAR 三重叠图。

③结合雷达的卫星估算降水,从而形成扩展雨区的降水概率分布图和扩展雨区的雨强分布图。

1.3.3 雨区外推预报产品(选择运行方式下进行)

①3到6小时内各时次雨团预报图并列显示。

②预报前后时段雨团动画显示。

2 雷达网自动拼图

2.1 参加组网的数字化雷达必须按工厂规定指标定时进行严格定标,保证雷达系统运行的稳定性,其回波强度统一转换到 DBZ 单位上。长江中游雷达数据等级划分如下(共16级):

0; <20; 20—<24; 24—<27; 27—<30; 30—<32.5; 32.5—<35; 35—<37.5; 37.5—<40; 40—<42.5; 42.5—<45; 45—<47.5; 47.5—<50; 50—<55; 55—<60; >60dBz

在产品的选取上,一般设想用 CAPPI 比较理想。MYWMS 系统中除武汉雷达外,一般用的是低仰角(0.5°)PPI,拼图实际效果较好。这是由于组网雷达间距离最大 300km 左右,即单部雷达的有效距离只需 150km,其波束离地面高度最大仅为 2.7km。

2.2 雷达数据传输是拼图的另一个重要环

节。在长江中游拼图系统中,通讯方式有3种:(1)专线;(2)程控拨号;(3)短距离有线(RS232 串行)。在数据传输格式和压缩处理方面是一并考虑的。MYWMS 中研究出一种效率相当高的压缩编码技术^[2]。雷达图象压缩比为 1:8,用 9600bps 传一幅雷达图只需 4 秒左右。拼图系统中央处理机定时自动启动,从网上调取各雷达资料进行拼图,为时约 1 分钟。

2.3 在中央图象数据处理方面主要是坐标变换及雷达重叠区的数据处理。关于坐标变换已作过详细研究^[3]。参与拼图的各雷达系统已经数字化处理,其图象资料转换成了雷达直角坐标(x,y)表示。而拼图新坐标采用兰勃脱和麦卡托两种,用(X,Y)表示,其中 $X = X(\varphi, \lambda)$, $Y = Y(\varphi, \lambda)$, 又 $\varphi = \varphi(x, y)$, $\lambda = \lambda(x, y)$, 故整个坐标同化过程简单地表示为:

$$\begin{aligned} X &= X[\varphi(x, y), \lambda(x, y)] \\ Y &= Y[\varphi(x, y), \lambda(x, y)] \end{aligned} \quad (1)$$

其中(φ, λ)为(x,y)所对应的经纬坐标,其具体函数为:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arcsin\left[\cos\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{R}\right) \cdot \sin\varphi + \sin\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{R}\right) \cdot \cos\varphi \cdot \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right] \\ \lambda &= \arcsin\left[\frac{x \cdot \sin(\sqrt{x^2 + y^2}/R)}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos\varphi}\right] + \lambda \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中, φ, λ 为雷达站纬度和经度,R为地球半径。鉴于实时运行之需要,坐标变换采用查表法。转换表是事先作好的,并且根据雷达坐标到新的拼图坐标的对应规律,对转换表进行压缩,使表容量为原来的 1/20。另外,在雷达坐标向底图坐标变换时,在底图上就有可能出现盲点(即无数据点)。对这些盲点采用点对点逆转换予以填充。

相邻雷达有重叠探测区域,处理方法一般为两种,即最大强度法和固定边界法。最大

强度法为在重叠区的某点上选取强度最大的某部雷达回波值作为其代表值;固定边界法则在雷达覆盖重叠区中划出一条曲折线以区分雷达间的取值范围而不致相互混合(见图1)。这种固定边界线的划定比较复杂,要综合考虑每部雷达的探测性能、地形分布及雷达的实时可利用性等,在MYWMS中,两种技术方法可以任选。但随着参与拼图雷达的增加,固定边界法比较麻烦。比如6部雷达参与拼图,对某一时次而言涉及到用不同雷达边界的有63种。

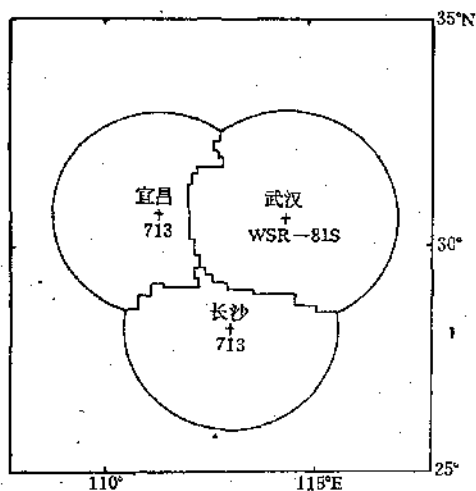


图1 三站雷达联网拼图固定边界线划分

3 雷达和卫星(IR/VIS)图象三重叠

要识别雷达、IR、VIS三种图象之间关系,应用恰当表现方法是很重要的。为此,对参与叠加显示的各种图象必须进行一系列的二次处理,其中包括坐标同化、灰度转换、等值线分析等。在三重叠图象显示中,红外(IR)云图用低8级灰度,雷达拼图用高8级彩色表示,可见光(VIS)云图则用8级彩色等值线。这样就能十分清楚地表现出三种遥感信息的相互关系。云图等值线的制作采用一种微分尖锐化处理技术,并在微分前对图象离散点过滤和加权平均处理。采用这些技

术,保证了等值线的快速处理和不失真的平滑性,有效快速地实现了三重叠显示,对鉴别云雨场中的强对流发展十分有用,其处理时间仅为7秒钟。

4 结合雷达的卫星估算降水

4.1 基本原理

用卫星估算降水可以有效地弥补雷达探测范围有限之不足。Lovejoy和Austin^[4]充分利用可见和红外图象与相应位置的雷达资料二维频率分布关系,从而区分有雨或无雨的云体,即利用雷达和卫星的重叠区域求出双谱卫星不同强度二维组合所对应雨的概率,然后延伸到雷达范围外作出概率图,根据不同的门限概率相应求出雨区,完成雷达探测范围外的雨区扩展。该算法用公式(3)表示如下:

$$P_R(I,V) = 100 \times \frac{R_R(I,V)}{R_R(I,V) + R_{NR}(I,V)} \quad (3)$$

式中, $R_R(I,V)$ 表示红外强度为 I ,可见光强度为 V 时有雨的象素点数;相应 $R_{NR}(I,V)$ 则表示无雨的象素点数; $P_R(I,V)$ 就表示在 (I,V) 时有雨的概率。这种概率的求取在雷达有效探测边界UDB(Usable Data Boundaries)内进行,得到一个随 I,V 二维分布的概率矩阵:

$$[P_R(I,V)](I,V = 0,1,\dots,15) \quad (4)$$

然后假设这一关系适合于UDB外。MYWMS系统在以上原理基础上有所发展,按雨强(小、中、大雨以上)3类划分,可得到3种雨强的概率矩阵:

$$[P_{R小}(I,V)], [P_{R中}(I,V)], [P_{R大}(I,V)] \quad (5)$$

实时建立不同雨强概率分布图。这样MYWMS系统可实时产生两种雨区扩展产品:①扩展雨区概率分布图,主要考虑有雨的概率分布,而不区分雨强,不同的概率值用不同色彩表示。②扩展雨强分布图,该产品是先确

定一个门限概率,然后得到的是在门限概率以上的不同雨强综合显示,从而构成大范围“雷达回波图”(见图 2)。

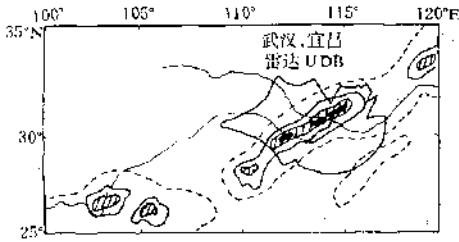
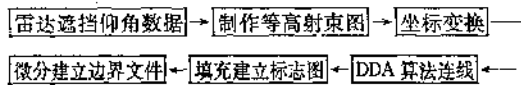


图 2 1991 年 7 月 9 日 08:30 扩展雨区雨强分布图
实线区为小雨;阴影区为中雨;黑色区为大雨以上;虚线区为红外卫星云图

MYWMS 在进行云雨场分析前,必须对雷达合成图象进行预处理。主要有两个内容,一是确立雷达网有效探测边界 UDB;二是对雷达图象实现质量控制(比如杂波消除等)。上述两项预处理是实现卫星降水估算的必要条件,对保证估算质量起到十分重要的作用。

4.2 有效边界的确定

雷达探测有效边界(UDB)确定是进行云雨转换的一项基础工作。根据不同雨型,UDB 大小有所变化。具体做法概括为:



由图 2 可见武汉—宜昌两雷达组合有效边界。在实时运行中,随着不同雷达站的缺失,致使 UDB 文件增多到 63 种。

4.3 雷达图象的质量控制

多部雷达自动联网拼图可以较大范围地探测降水分布状况,与此同时也存在非降水回波的干扰。在作云雨关系统计时需把回波当真值。“真值”不真必然带来严重后果。因此,如何净化降水回波信息,消除诸如地物杂波、超折射回波及同频干扰是云雨转换前的一个重要工作。它称做图象的质量控制^[4]。

在 MYWMS 中,主要采用两种方法来消除异常回波。一是卫星信息比较消除法;二是手动 Mouse(鼠标器)主观消除法。由于本系统对双谱卫星云图和雷达网信息进行了准确的位置同化处理,利用这三者的相互关系消除或部分消除异常回波是很显著的。操作人员可事先键入红外云图强度阈值 L_{IR} 和可见光阈值 L_v ,当雷达回波所对应的卫星值均低于阈值时,即认为是非降水回波,否则为降水回波。卫星的阈值可随时修改,以消除人为判断的超折射等异常回波并尽量不损失降水信息为基准。另外,本系统还采用鼠标器人为判断的方法。即用 Mouse 定义廓线对判断为非降水回波进行描述,敲一键即可去除。同时对 Mouse 所描述的回波可进行加值或减值处理,这对于处理杂波和降水回波相混情况十分有用。经过杂波处理后的雷达拼图为用户有效地使用带来极大方便,也为上述雨区扩展打下了良好基础。

5 降水外推预报

5.1 基本思路

雨区外推预报是基于经质量控制后的雷达拼图或经云雨转换后的大范围雨区分布图进行主客观相结合的线性外推过程,外推时间间隔任选(0.1—2 小时),外推未来 3 个时次。操作人员借助于一定的天气学知识和现时若干时次(一般 4 个时次)雨区系列图的动画状况,以确定几个有效的雨团(clusters),并指定能代表雨团移动状态的特征点 $f(x, y)$,根据前后一定间隔的 $f(x, y)$,很容易确定 $(\Delta x, \Delta y)$,即移动矢量分量,然后运用拉格朗日复演技术(Lagrangian replay)^[5]修改 $(\Delta x, \Delta y)$,最后将最新的一幅雨区图的几个雨团分别按各自的 $(\Delta x, \Delta y)$ 进行外推,以构成未来 3 个时次的预报雨区图。

5.2 实现过程

降水外推预报依据上述思路可概括为图 3 所示的工作流程。

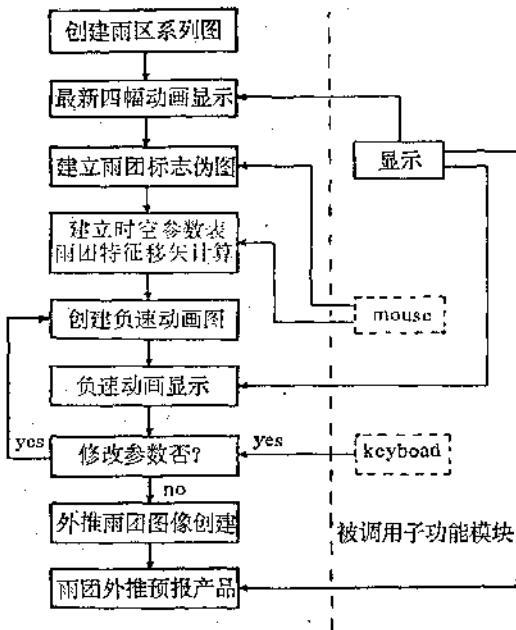
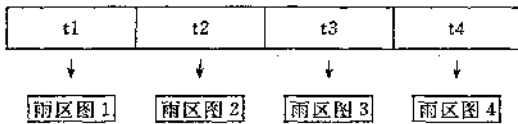


图3 MYWMS降水外推预报工作流程图
虚线框表示人机交互功能

5.2.1 雨区当前系列图的创建。本系统通过杂波消除等方面的质量控制及云雨转换而一起构成大范围雨强分布系列图。在作雨区外推预报时,为处理方便和格式的一致性,系统将以上两种雨区图变为方阵大小为 320×240 、象素点分辨率为 8km 的数据文件系列。另外,应有一个时间序列文件以便查找,构成方式如下:

时间指针



5.2.2 雨区分割或聚类。有了当前雨区系列图,可进行动画显示。操作人员很快可判断整个雨区不同时次雨团数(在MYWMS最多可区分8个雨团)及其匹配情况。用Mouse对雨团分割或连接,以实现雨区的聚类分析,并将选定的各雨团用不同颜色(或是数字)表

示,从而构成雨团标志文件(flag-file)。Flag-file只作后继处理,可不作显示。在制作标志文件时,只需用Mouse在彩色屏幕上确立雨团号,随即计算机自动利用潮涌填充法(Flood-fill),建立标志文件。不同时次而具相同属性的雨团标以相同颜色,以完成雨团匹配。

5.2.3 雨团移矢的确定。准确求算各雨团移矢是进行雨区线性外推预报的关键。系统将不同时次不同雨团使用Mouse定位,计算机迅速得到各点坐标 $f(x_{ij}, y_{ij})$ 。其中 i 表示雨团号, j 表示时次号。根据前后两幅图即可得到 $(\Delta x_1, \Delta y_1)$ 、 $(\Delta x_2, \Delta y_2)$ 、……即为不同雨团的移动分量,并构成参数表:

附表:参数表

编号	T_1	T_2	速度
No. 1	x_{11}, y_{11}	x_{12}, y_{12}	$\Delta x_1, \Delta y_1$
No. 2	x_{21}, y_{21}	x_{22}, y_{22}	$\Delta x_2, \Delta y_2$
⋮	⋮	⋮	⋮
No. n	x_{n1}, y_{n1}	x_{n2}, y_{n2}	$\Delta x_n, \Delta y_n$

求算出 $\Delta x, \Delta y$ 后,MYWMS采用拉格朗日复演技术^[5]对 $\Delta x, \Delta y$ 进行调整,以求得各雨团较准确的移速。具体做法是:将标志文件中所对应的各雨团进行负速动画处理。在负速动画中,如果我们认定的特征点或整个雨团轮廓相应重合,即认为就求到了准确的移矢,否则就通过键盘调整 $\Delta x, \Delta y$ 。

5.2.4 外推系列图象制作。将标志文件所对应的最新时次各雨团中的象素点进行线性移动,即 $(x + j\Delta x_i, y + j\Delta y_i)$, $j = 1, 2, 3$,以构成未来3个时次预报系列图。然后将外推3幅图连同当前雨区图一同纳入雨区扩展系列进行存放和动画显示。

6 结语

MYWMS系统迄今已运行4年,有效地监测了1990年8月14日远安特大暴雨(6小时雨量400mm)、1991年7月长江中游连续特大暴雨等一系列重要天气过程;发现和

揭示了许多有价值的中尺度天气演变规律;积累了大量云雨图象资料。仅在 91.7 长江流域特大暴雨期间,MYWMS 系统连续运行 15 天,产生以半小时为周期的雷达拼图 400 余幅,云雨重叠图近 300 幅,对外自动发送共 700 余幅。Browning 指出^[5],云雨图象的实时综合技术将导致临近预报出现一个新的发展阶段。因而,MYWMS 的出现有可能显著地改进长江中游地区降水临近预报的能力。无疑,它已为改变如下状态创造了极为有利的技术条件:①使数字化天气雷达的单部分散使用进展到自动化集中组网使用;②使长久以来一直分开分析的卫星云图和雷达网回波图综合在一起进行实时观察和分析,从而对中尺度天气过程提高认识;③使长期来企图利用但实际很难使用的卫星估算大面积降水的方法,可方便灵活地实时实现;④使主客观相结合人机交互式的临近预报的各种算法,有可能利用系统具有的活力而得到不断改进和提高。

1993 年,MYWMS 较成功地进行了 4 部

雷达(武汉、宜昌、恩施、长沙)拼图试验,可望至 1995 年扩展到 5—6 部。在云雨分析方面,还将进一步开展雷达(Rad.)、IR、VIS 及实测雨量的多重相关性研究以提高降水估算精度和临近预报的准确性。总之,对 MYWMS 系统还将进一步开发研究,使之不断完善和实用。

参考文献

1. Jin Hongxiang(金鸿祥)et al., An Interactively Integrated System for Detection and Nowcasting of Precipitation in Middle Yangtze River, 25th International Conference on Radar Meteorology, Paris, 1991.
2. 冯斌贤等. 武汉天气信息分发服务系统的研制及应用. 气象, Vol. 20(8), 1994.
3. 万玉发等. 雷达和卫星图象的坐标同化及其实现. 南京气象学院学报, No. 4, 1990.
4. Austin G. L., Combining Satellite and Radar for the Short-Range Forecasting of Precipitation. Proc. IAMAP Symposium, Hamburg, 1981.
5. Conway B. J. and K. A. Browning. Weather forecasting by interactive analysis of radar and satellite imagery. Phil. Trans. R. Soc. Lond., A324, 1988.

The Interactive Processing System Integrated Weather Radar Composite and Satellite Images in Real Time

Wan Yufa Chen Shaolin Luo Jianguo

(Wuhan Central Weather Service, 430074)

Abstract

As a key link of synthetic processing in MYTRONS, MYWMS system has been successfully designed and developed with dual functions. It has not only the capability of integrated images of radar network and satellite, that makes analysis and extrapolation forecasting of the cloud-rain field similar to FRONTIERS workstation, but also the function as central processing of automatic composite image from digitized weather radar network in the Middle Reaches of the Yangtze River.

Key Words: radar network synthetic workstation cloud-rain analysis extrapolation forecasting