

郭伟,王振会,孙安平,等. 地基微波辐射计网络资料处理系统设计及实现[J]. 气象,2010,36(4):120-125.

地基微波辐射计网络资料处理系统设计及实现^{*}

郭 伟^{1,2,4} 王振会^{1,2} 孙安平³ 胡方超² 楚志刚² 潘旭光²

1 江苏省气象灾害重点实验室,南京信息工程大学,南京 210044

2 南京信息工程大学大气物理学院,南京 210044

3 青海省气象局,西宁 810001

4 中国气象局气象探测中心,北京 100086

提 要: 青海省三江源自然保护区项目利用三台地基微波辐射计(12~20 通道)用于人工增雨工程,为了有助于在增雨作业过程中快速、直观、准确掌握整个区域内天气状况,设计了微波辐射计网络资料处理系统。整个系统包括观测站以及中心站数据库设计、观测数据上传和入库以及用户查询显示终端程序。该系统的建立采用结构化程序设计,方便后续功能扩展,用 DELPHI 7 作为应用程序的开发工具,用 Microsoft SQL 2000 做数据库,已实现数据格式转换、数据资料的实时传输、自动入库、原始数据及气象产品的查询、输出及单站产品多方式显示等功能。经过半年多软件测试实验,系统整体运行良好。

关键词: 地基微波辐射计观测网络,资料处理软件,系统设计

Network System Design and Realization for Ground-Based Microwave Radiometer Data Processing

GUO Wei^{1,2,4} WANG Zhenhui^{1,2} SUN Anping³ HU Fangchao² CHU Zhigang² PAN Xuguang²

1 Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 Qinghai Meteorological Bureau, Xining 810001

4 Meteorological Observation Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract: Three ground-based microwave radiometers were introduced into the artificial rainfall project for Sanjiangyuan Nature Reserve in 2008. Network data processing system for ground-based microwave radiometers was designed for the sake of acquiring the atmospheric information rapidly, visually and accurately, which was observed in the whole reserve. According to the function, the system can be divided into four parts: data uploading program, databases designing, data writing into database program and user terminal program for display. Structured programming was used for the system development. Delphi was used as the programming language, and Microsoft SQL Server 2000 as the database was selected to realize the functions of real-time temporary database and historical database establishing, microwave radiometer data conversion to the standard format, transformation, appending, data query, data exportation, and data display. After more than six months of software testing, the system is operating well overall, and is about to apply in the meteorological observation.

Key words: observation network consisting of ground-based microwave radiometers, software for data processing, system design

* 青海省三江源人工增雨工程科技支撑项目资助

2008 年 11 月 10 日收稿; 2009 年 9 月 30 日收修定稿

第一作者:郭伟,主要从事大气遥感技术研究. Email:guowei521521@163.com

引 言

在已有的大气水汽含量和云内液水含量的探测手段中,地基微波辐射计有连续、客观、定量监测的优势^[1],可以直接间接地为人工增雨作业提供许多重要信息,确定增雨作业时机和部位,并为飞机人工增雨作业提示飞行安全^[2],在中小尺度和人工增雨领域得到广泛的应用。内蒙古气象科学研究所于 1993 年引进北京大学研制的双通道(22.235 和 35.3 GHz)微波辐射计,用于大气总水汽含量和云内积分液态水含量的监测^[2],为进行云的研究奠定了坚实的基础。段英、朱元竞等^[3-4]利用北京大学研制的地基双通道微波辐射计观测的资料总结了河北省的云水分布规律,为地基微波辐射计应用于人工增雨的外场作业提供了技术条件。青海省于 1997 年春季引进北京大学研制的微波辐射计,首次应用于高原人工增雨外场作业^[5-6]。近些年来,微波辐射计通道个数越来越多,波谱分辨率、产品精度越来越高,开始得到广泛的应用。北京城市气象研究所^[7]、兰州大学等单位先后购置了地基 12 通道微波辐射计 TP/WVP-3000。

多台辐射计多角度联合观测成为高空探测发展的新趋势,多站资料实时数据融合就显得尤为重要。Warner 和 Drake^[8]提出,通过从不同方向探测云及其周围环境的微波辐射亮温值,求解垂直剖面上积状云液态水含量的二维分布。目前,青海省三江源自然保护区人工增雨工程正在建设地基微波辐射计观测网络。而微波辐射计自带的显示系统,仅能在观测站本地进行实时图形演示。为了在实际人工增雨作业过程中,有助于指挥中心了解整个作业区域内的状况,需要实现单站与中心站之间数据的实时传输与自动写入实时及历史数据库,并且能够初步完成多站数据在中心站的查询以及各级产品的实时分站显示。本文介绍该组网软件系统的设计与实现。

在软件设计中,考虑到地基微波辐射计尚未进入气象业务观测应用,有关微波辐射计的观测尚未有国家或行业标准可依,所以,我们参照多普勒雷达^[9-12]和自动气象站网络系统^[13-14],结合三江源增雨工程的需要,进行微波辐射计组网软件系统设计。

1 系统结构

系统软件结构框图如图 1 所示,主要分为观测站、中心站、用户终端和状态监控四部分。观测站部分包括了数据格式转换、数据压缩、数据上传三个模块。中心站部分包括了自动解压入库模块,并创建了实时数据库和历史数据库。用户终端程序包括网络数据库访问模块、数据解压模块和数据显示模块。整个系统的运行可通过监控模块进行监控,并将运行状态保存到日志文件中。系统各部分主要功能描述见本文第 2 节。

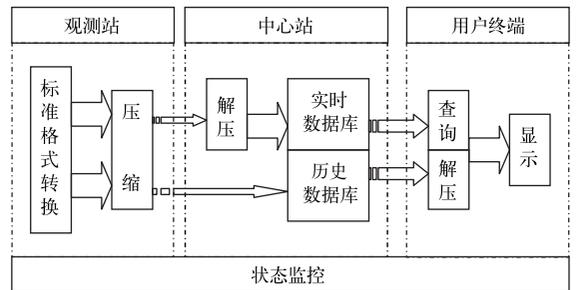


图 1 系统软件结构框图

Fig. 1 Block diagram of system software

2 系统主要功能及设计思路

2.1 观测站数据处理与上传

2.1.1 资料格式转换与质量控制

资料格式转换的目的是将不同的地基微波辐射计观测得到的数据统一为“标准数据格式”。实际上,地基微波辐射计目前尚未应用于气象业务观测,数据格式尚未形成“标准”,我们参照了多普勒雷达^[9]以及业务气象卫星的数据格式,结合三江源增雨工程项目的需要,以及地基微波辐射计自身特点,依照《中华人民共和国气象行业标准 QX/T 37-2005》^[15]制定了数据格式作为本系统的“标准数据格式”。此格式具有气象意义,且与硬件关联小,方便数据通信、传输、保存、处理。

在转换格式的同时,参考了自动气象站的数据质量控制方式,对微波辐射计数据从以下两个最基本的方面做了简单的处理。

(1) 对每条记录进行缺值检查,若某字段为空,则赋值为-99999,以防在数据处理过程中出错。

(2) 对观测数据进行气候学界限值与要素允许值范围检查^[16]。对于不正常情况进行剔除操作,并将被剔除记录信息保存到日志中。

2.1.2 数据压缩

为了节省网络资源及数据上传下载时间,需进行数据压缩。具体实现时,采用了 DELPHI 封装的 ZLib 单元的 TcompressionStream 类,将数据压缩为二进制文件包,压缩后文件仅为原始文件大小的 1/3。

2.1.3 数据上传

本系统使用 FTP 技术来实现数据从观测站到中心站的上传。为便于数据管理和各业务部门应用,上传以自动实现为主,也可手动实现。自动上传又包括准实时上传及整日数据定时上传两种方式。

准实时上传程序是由时钟触发,以相等的时间间隔(称为上传周期)检查原始数据文件夹,自动提取新的观测数据并压缩打包后准实时上传到中心站临时文件夹中。上传周期保存在配置文件中,由用户设定。若上传周期不大于辐射计一个观测记录形成所需要的时间,即为实时上传。考虑到原始数据格式及数据库表结构,本系统设置了整日数据定时上传方式,用户可自行选择一固定时刻上传前一天所生成的全天数据。

为防止由于网络中断等其他原因造成的数据上传失败,本系统还设定了手动上传模式,由用户自行指定上传文件路径,点击确定后自动压缩上传。

数据 FTP 上传软件的具体实现采用了 DELPHI 自带的 TIdFTP 控件。

2.2 中心站数据库

中心站具有数据通信和自动入库功能。在中心站建立地基微波辐射计网内共享数据库,实时存放从各站接收到的数据,并可通过局域网向本软件系统之外的其他数据库提供数据。

2.2.1 数据解压入库模块

实时上传至中心站的压缩文件,先使用 TDecompressionStream 类进行解压,保存 cache 临时文件夹中。自动入库程序定时扫描 cache 临时文件夹中数据,一旦发现新记录,便将其推入数据库,临时文件夹中数据自动删除。定时上传的整日数据传至

中心站服务器后则不经解压直接推入数据库。

2.2.2 用户信息维护模块

用户信息表用来存放用户名、密码、权限类型等用户信息。用户权限表存放不同权限类型,可对是否可查看实时数据、历史数据、数据下载以及可查看数据级别等六个方面来设置。系统根据登录用户名及密码查找用户所属权限类型,再到权限表查找相应权限,提供相应操作菜单。用户权限清晰,利于数据库维护工作开展。

2.2.3 辐射计资料维护模块

辐射计信息表用于存放观测站基本情况以及仪器性能参数。辐射计信息表包括观测站所在国家、省份、经纬度、海拔高度以及辐射计型号、工作参数,最后一个字段用来保存该站图片信息。

表 1 历史数据表结构

Table 1 Structure of historical data table

字段名	数据类型	长度	是否允许为空	含义解释	
1	Inx	Char	40	否	索引,方便查询格式为年-月-日-站名
2	Timespan	Int	4	是	距离 2008 年 1 月 1 日已过秒数
3	FileL0Name	Char	50	是	0 级数据文件名
4	FileL0Content	Image	16	是	压缩后的 0 级数据
5	FileL1Name	Char	50	是	1 级数据文件名
6	FileL1Content	Image	16	是	压缩后的 1 级数据
7	FileL2Name	Char	50	是	2 级数据文件名
8	FileL2Content	Image	16	是	压缩后的 2 级数据
9	FileTipName	Char	50	是	TIP 定标数据文件名
10	FileTipContent	Image	16	是	压缩后的 TIP 定标数据
11	FileLN2Name	Char	50	是	LN2 定标级数据文件名
12	FileLN2Content	Image	16	是	压缩后的 LN2 定标数据

2.2.4 辐射计观测资料模块

辐射计观测数据分为 3 级,0 级数据为各通道电压值,1 级数据为各通道亮温值,2 级数据由各通道亮温反演得到的温度、相对湿度、水汽密度、相对湿度廓线以及水汽总量和云中液态水总量等大气参数信息。

(1) 实时数据表

实时数据表用于存放近期内各观测站实时上传的临时数据,便于数据实时显示。数据滚动存放,保存天数可由用户自行设定。根据数据格式需求,本系统建立了 6 个实时表:0 级电压表、1 级亮温表、2 级温度表、2 级相对湿度表、2 级水汽密度表、2 级液态水密度表,并根据各级数据格式设计了表结构,本

文从略。

(2) 历史数据表

历史表中保存仪器相关定标数据文件与每天自动生成的各级数据。由于微波辐射计为实时数据采集系统,若按每一次采集数据记录存放,表中记录条数太多,会严重影响数据库的查询效率,因此创建了历史表,一条记录存放仪器观测一天生成的所有的数据。

原始 CSV 文件在入库之前均被压缩为二进制文件,所以采用 Image 数据类型。为了查询导出方便,每种数据类型设置 Name 字段,存放保存文件名,文件导出后仍按原始文件名保存。

2.3 用户终端程序

本程序实现中心站局域网内计算机对数据库的访问,并具有综合处理、多种方式显示各站观测资料、输出初级产品的功能,方便人工增雨指挥部门实时获取各观测点气象信息,及时做出相应对策,同时也为面向气象应用新需求,结合反演新技术,继续开发高级别产品搭建平台。

2.3.1 数据查询

数据查询模块要与后台数据库进行通信,实现各观测站实时数据、历史数据任意时段多条件的各种类型查询,提供给显示和输出模块进行显示和输出。查询技术采用先进的 SQL 结构化查询语言。与 SQL Server 2000 数据库访问连接采用 ADO 数据对象访问技术。ADO 是微软提出的数据访问接口,ADO 的优点是易于使用、速度快、内存支出少。

2.3.2 数据显示

(1) 数据图形显示

用户终端程序运行后,时钟开始等时间间隔实时触发数据库查询程序取出最新时间间隔数据。针对各级数据的不同显示方式,调用不同画图函数接口,从而实现了各站数据在用户终端的分别实时显示。并且,本系统为日后多站数据综合处理与集成显示,提供程序接口。显示方式有以下几种:

- (a) 单站时间序列显示;
- (b) 单站廓线图显示;
- (c) 单站插值彩色图显示;
- (d) 单站天线扫描方式显示(方位扫描、仰角扫描)。

(2) 数据表格显示

为实现该功能,使用了 Delphi 中 VCL 类库中封装的 StringGrid 组件,仿照 Excel 点击效果,自行编写了 OnDrawCell 函数,用户可按照一般表格使用习惯,自行选择所需行列数据进行复制或导出。

2.3.3 数据输出

数据输出模块主要功能是输出查询的结果及整日历史文件下载。数据输出的方式可以是 TXT 文本、Excel 表格或 BMP 图像。

2.4 状态监控

本模块通过监控数据流对系统网络通信以及与数据库的连接是否正常进行跟踪。若由于网络原因,观测站数据上传或者访问数据库失败,则系统通过状态栏指示灯发出警报,相应状态描述均保存到日志文件中。

3 系统运行环境与主要界面

该系统对计算机硬件无特殊要求,如下配置即可运行。

CPU: Intel P4 1.7 G 以上

内存: 512 MB

网卡: 100 Mbps 以太网卡

硬盘: 20 G 可用空间(用于存放资料)

显示器分辨率: 1024×768

单站与中心站的网络连接需支持 FTP 协议。用户终端显示功能的实现,要求用户计算机与中心站联网。

用户在实现 FTP 数据上传功能的同时还可以选择是否上传到本地数据库,可以点击相应选项卡设置远程服务器以及本地数据库的参数。在上传程序界面的最下端,有远程服务器连接状态指示灯,当数据传输正常时为绿灯,若 FTP 上传失败一次则亮黄灯,连续两次上传不成功,则显示红灯。程序运行状态均保存到日志文件中,可以点击“日志”选项卡来查看。

程序运行后,从后台数据库获取需入库站号信息,原始数据存放路径、数据库参数、实时入库时间间隔,临时数据清空时间等参数可点击“设置”选项卡之后进行设置。在“工作”选项卡下点击相应按钮

实现数据的自动及手动入库。

用户终端程序激活后出现的主界面如图 2 所示。

在“系统设置”菜单中可对图像显示时最值进行设置;点击“观测站信息维护”菜单添加或修改站点信息及仪器工作参数;可点击选项卡查看相应级别辐射计观测资料实时及历史显示图像。点击“数据查询及下载”选项卡,实现数据的多条件查询及下载。

另外,本软件还设置了地面气象参数显示部分,可显示辐射计周围环境的气温、气压、湿度、降水等气象参数。对于装有红外温度计的辐射计仪器,本软件可以进行云底高度(如图 4)和云底温度的时间序列显示。

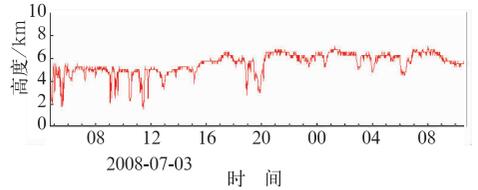


图 4 云底高度时间序列显示
Fig. 4 Time series display for height of cloud base

5 结 语

(1) 本系统实现了多站数据的综合查询、显示及处理,为多台辐射计联合观测、反演,提供了一个可视化的,具有气象物理意义的数据产品技术平台,能够使地基微波遥感资料更加有效地应用于人影指挥决策,为人工影响天气等气象业务服务。

(2) 基于微波辐射计遥感探测的数据产品,可以作为气象综合观测的一部分,为当前的气象数值模式同化和预报提供更加丰富的数据源。

(3) 我国尚未制定有关地基微波辐射计的观测和数据格式标准,建议尽快组织制定。本研究中的相关成果在相关标准制定中有参考意义。

参 考 文 献

[1] 张培昌,王振会. 大气微波遥感基础[M]. 北京:气象出版社, 1995;263-270.

[2] 苏立娟,张自国,马慧萍. 双通道微波辐射计在人工增雨作业中的应用研究[J]. 内蒙古气象,1999, 03:25-30.

[3] 段英,吴志会. 利用地基遥感方法检测大气中气态、液态水含量分布特征[J]. 应用气象学报, 1999,10(1):34-40.

[4] 朱元竞,胡成达. 微波辐射计在人工影响天气中的应用[C]. 中国气象局“八五”期间大气科学基金研究论文汇编. 北京:气象出版社,1997;249-255.

[5] 黄彦彬,德力格尔,王振会. 利用地基双通道微波辐射计遥感青藏高原大气云水特征[J]. 南京气象学院学报,2001,24(3): 391-397.

[6] 德力格尔,李仓格. 黄河上游地区大气云水资源的开发与应用[J]. 青海科技,2001,3:35-38.

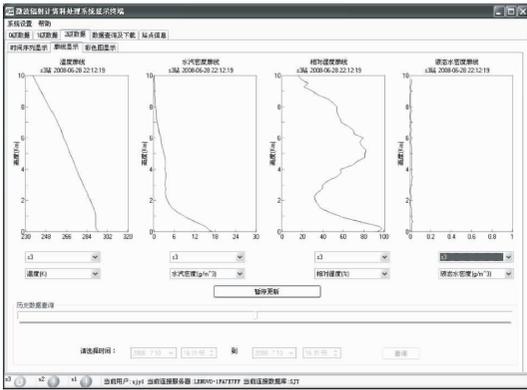


图 2 微波辐射计终端显示系统界面举例
Fig. 2 An example of terminal display system interface for microwave radiometer

4 系统输出主要产品举例

该系统可提供 3 个级别的数据产品,即 Level 0、Level 1 和 Level 2。Level 0 数据为各通道电压值,Level 1 数据为各通道亮温值,Level 2 数据为气象参数的反演产品,如大气温度、湿度、水汽和液态水廓线,垂直积分水汽总量和液态水总量。图 3 是 Level 2 产品的彩色显示一例。

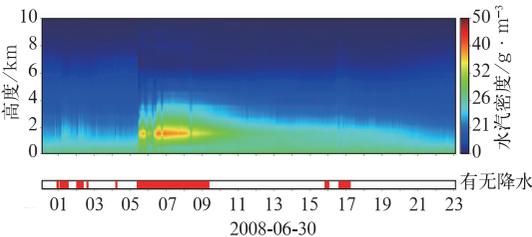


图 3 Level 2 产品彩色显示一例
(水汽密度廓线的时间序列以及降水时段显示)
Fig. 3 An example of Level 2 product colorful display
(Display of time series for water vapor density profile and rainfall time period)

- [7] 刘红燕. 遥感大气结构的地基 12 通道微波辐射计测量结果分析[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(2): 222-229.
- [8] Warner J, Drake J F and Snider J B. Liquid water distribution obtained from coplanar scanning radiometers[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1986, 3: 54-546.
- [9] 沃伟峰. 多普勒天气雷达二次产品开发平台的设计与实现[D]. 南京气象学院, 2003.
- [10] 李凯, 罗慧敏, 顾谦. 新一代天气雷达资料下载与共享[J]. 气象, 2006, 32(9): 111-115.
- [11] 刘淑媛, 孙健, 郭卫东, 等. 多普勒雷达数据处理显示系统[J]. 气象, 2004, 30(7): 44-46.
- [12] 王红艳, 刘黎平, 肖艳娇, 等. 新一代天气雷达三维数字组网软件系统设计与实现[J]. 气象, 2009, 35(6): 13-18.
- [13] 杨晓武, 黄兴友, 徐平. 加密自动气象站实时监控与查询显示系统[J]. 气象科技, 2008, 34(8): 506-509.
- [14] 罗树如, 胡玉峰, 刘钧, 等. 自动气象站综合探测网的构建[J]. 气象科技, 2006, 33(4): 184-187.
- [15] 中国气象局政策法规司. 《气象标准汇编 2005-2006》[S]. 249-263.
- [16] 王新华, 罗四维, 刘小宁, 等. 国家级地面自动站 A 文件质量控制方法及软件开发[J]. 气象, 2006, 32(3): 107-112.

征稿简则

- 1 《气象》主要刊登气象科学研究领域的综合评述及研究论文;天气、气候诊断分析与预报技术;气象业务技术及业务现代化建设经验;气象灾害的规律及防灾减灾决策;公共气象服务和专业气象服务技术方法;气象科技信息动态等。
- 2 来稿注意事项
 - 2.1 来稿务必论点明确,数据可靠,文字精炼。文章的书写顺序为:中文题目(不超过 20 个汉字)、作者姓名、单位名称、邮政编码、中文提要(200~300 字)、关键词(3~8 个);英文题目、作者姓名、单位名称、邮政编码、英文提要及英文关键词;引言;正文;结论和讨论;致谢;参考文献。文章首页页脚处附作者信息,即姓名、从事专业工作和研究方向、Email 等。
 - 2.2 正文标题用阿拉伯数字连续编号,不同层次数字间用圆点间隔,如“1”,“1.2”,“2.1.3”等。标题左顶格,在数字编号后空一格再写标题,末尾不加标点符号。
 - 2.3 基金资助的研究项目,请注明省部级以上基金名称和项目编号。
 - 2.4 文稿的单位制采用《中华人民共和国法定计量单位》。图、表中量和单位间用“/”隔开,表示物理量的符号用斜体表示,并注意文种、大小写、正斜体、上下角码等。
 - 2.5 科技术语和名词应使用全国自然科学名词审定委员会公布的名词。
 - 2.6 文稿只附必要的图表。图、表要求准确,清晰,美观。在文中相应的位置插入图、表。图、表附相应的中英文图题、表题。附表请使用三线表。
 - 2.7 参考文献按在文内出现顺序连续编码。在期刊上发表的文献书写格式为:[序号] 作者姓名(列出前 3 位). 题名[J]. 期刊名,年,卷(期):页码。在专著、教科书上发表的文献书写次序为:[序号] 作者姓名. 译者姓名. 文题名. 书名[M]. 出版地:出版社,出版年:页码。
- 3 请勿一稿两投。本刊一般不退稿,若 6 个月内未见刊用通知,可自行处理。
- 4 本刊收取发表费,并付稿酬,所付稿酬包含纸质版、数字版稿酬和刊物内容网络服务报酬等。凡不同意将其稿件纳入此两种版本进行交流者,请书面说明。
- 5 通讯地址:北京市中关村南大街 46 号《气象》编辑部 邮政编码:100081
网上投稿地址: <http://219.234.83.5>
电话:(010)68407936 58993789 68407336 Email:qixiang@cams.cma.gov.cn