



# 基于 GIS 的人工影响天气系统设计与实现

## 摘要

综合分析并总结了人工影响天气终端软件在框架结构和 GIS 应用方面的现状及存在的问题,针对人影的特定业务需求,提出了基于开源 GIS 的插件式人工影响天气指挥系统的设计方案.以 .NET 为开发平台,采用插件式 GIS 应用框架的二次开发方式设计系统架构,同时结合 GDAL 与 SharpMap 实现系统的 GIS 功能需求.在此基础上,详细阐述了插件模块和各 GIS 功能模块的实现,并给出了人工影响天气指挥系统的具体设计方法.实际运行效果表明,该指挥系统极大地提高了人影业务功能扩展以及后期维护的效率.

## 关键词

人工影响天气;插件式应用框架;GDAL 栅格数据转换库;SharpMap 地图渲染库;雷达影像

中图分类号 TP311.01

文献标志码 A

收稿日期 2014-05-10

资助项目 公益性行业专项基金(GYHY200906043);江苏省科技支撑计划(BE2011195)

## 作者简介

蔡苏鹏,男,硕士生,研究方向为人工影响天气指挥系统和 GIS 地理信息系统技术. supeng\_Cai2014@163.com

杜景林(通信作者),男,博士,副教授,主要研究方向为计算机软件和气象传感网技术. jldu@nuist.edu.cn

<sup>1</sup> 南京信息工程大学 电子与信息工程学院, 南京,210044

## 0 引言

为了对气象、地理信息、卫星遥感等多种信息资料准确定位和综合分析处理,建立基于 GIS 的人工影响天气综合技术分析平台非常必要<sup>[1]</sup>.传统人影平台的设计存在需求针对性过强,往往根据具体业务流程设计相应的功能实现,疏忽结构设计,在有扩展需求时难以实现二次开发.传统的 GIS 功能实现依赖于 PCI、ArcGIS、Super Map 等专业公司的商业软件,此类软件功能强大,但对系统要求及成本过高,且功能复杂,与项目结合程度不高.开源 GIS 系统因具有自主创新、合作创新的特点成为国内推动地理空间信息产业发展的一个热点.GDAL 是开源栅格空间数据转换库,具有免费、强大的功能和易扩展性,甚至 ESRI 的 ArcGIS 和 Google Earth 等著名软件的很多算法与模块都来源于 GDAL 开源库.在此前提下,本文提出基于开源 GIS 的插件式人工影响天气指挥系统.本系统采用 3 层架构将功能结构合理分层,同时结合插件式应用框架技术,为系统功能扩展、二次开发以及今后其他 GIS 应用的开发提供了一个高效、可靠的途径,并且降低了后期维护成本.本系统利用 GDAL 开源栅格空间数据转换以及 SharpMap 地图渲染两大开源类库,高效分析多普勒雷达监测影像的投影坐标系、栅格波段、影像范围来提供预警及作业指挥功能.

## 1 系统总体设计

### 1.1 系统总体结构

人工影响天气业务平台主要由人工影响天气智能指挥系统、中转服务器、基于 Android 的人工影响天气手机应用作业实施软件 3 部分组成.其中指挥端采用插件式框架设计,结合 GDAL 与 SharpMap 分析多普勒雷达监测获得的雷达影像的投影坐标系、栅格波段、影像范围并呈现实时栅格影像,为提供预警及作业指挥提供可视化地理信息操作.Android 作业实施端负责接收作业信息、作业定位、图像信息回传,在人工影响天气作业流程中实现指挥中心与作业人员的实时文字、语音、作业现场图像与视频沟通,保证作业的精准、高效及可靠性.中转服务器为指挥端与实施端搭建通信桥梁.利用挑战包、心跳包、C/S 与点对点结合等通信模式,在保证设备通信的畅通、安全、高效的同时,有效提高人影作业实施效率.图 1 给出了人工影响天气业务平台整体结构.

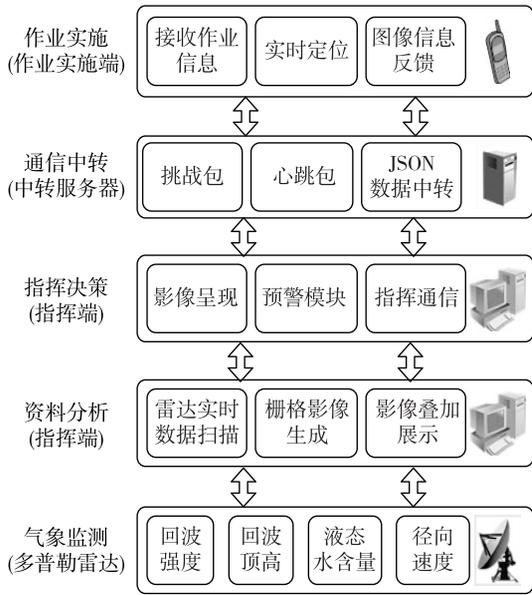


图1 人工影响天气系统整体结构  
Fig.1 Structure of weather modification system

1.2 指挥端框架设计

1.2.1 分层架构设计

指挥系统采用3层架构设计(图2)即表示层、业务逻辑层、数据访问层,增加了程序开发时的逻辑性,提高了后期维护、功能扩展的效率,为开发其他程序提供了标准化架构.由消息机制和业务逻辑实现各层之间的交互.

表示层利用 WinForm 程序结合 SharpMap 地图渲染类库中的 UI 显示控件 MapImage 以及 DockPanel 组成用户交互界面,用于显示分析后的矢量和栅格影像,使用户可直观监测当前气象状况并且在地图上可直观地监测作业点人员方位、作业信息、作业范围等信息.用户的任何功能操作都将在业务逻辑层予以实现.表示层利用数据模型类库 (Model) 和公共变量类库 (PublicLibrary) 通过业务逻辑层与数据库交互当前地理空间信息以及作业记录等数据.其中包含 UI 类库、数据模型类库 (Model)、公共变量类库 (PublicLibrary). UI 类库中包含系统 UI 设计所涉及的 SharpMap 图层显示窗口 MapImage 以及可停靠、拖动窗口工具 DockPanel; 数据模型类库的类与数据库中各个表一一对应; 公共变量类库为程序运行过程中需要用到的各种公共数据的内存缓存.

业务逻辑层中包含系统各个功能模块的处理逻辑,系统的核心功能均来自该层.它负责响应由表示层传来的交互请求,在执行完相应的逻辑功能后,再

返回给表示层.在人工影响天气指挥系统中业务逻辑层分为界面显示服务层、影像处理层、网络通信服务层,为程序插件模块的功能实现预留基本方法.它基于 GDAL 栅格数据转换库、postGIS 地理空间数据库和商用数据库,利用 GDAL 栅格数据处理的高性能实现人影指挥系统中雷达资料影像转换,空间参考坐标的投影、成像及空间信息存储.其功能模块包括人员管理、作业点管理、雷达影像处理、智能气象预警、实时作业通信、作业决策、作业定位以及作业状况监测.

数据访问层负责对系统所需的数据进行逻辑处理,为业务逻辑层访问数据库支撑服务器提供通信接口.它接受业务层对人员信息、作业点信息、地理空间信息、栅格影像库、指挥流程及实施状态等数据库的查询、修改、更新操作,并根据业务逻辑层的需求提交处理结果.在人工影响天气系统中主要包括用来保存地理空间信息及雷达扫描影像的地理空间信息数据库和人工影响天气作业信息数据库.使用开源 GIS 数据库 postGIS 保存地理空间信息数据,并根据图层类型进行分层存储,使用 Oracle 数据库根据系统业务需求对作业流程中相关信息进行合理规划存储.

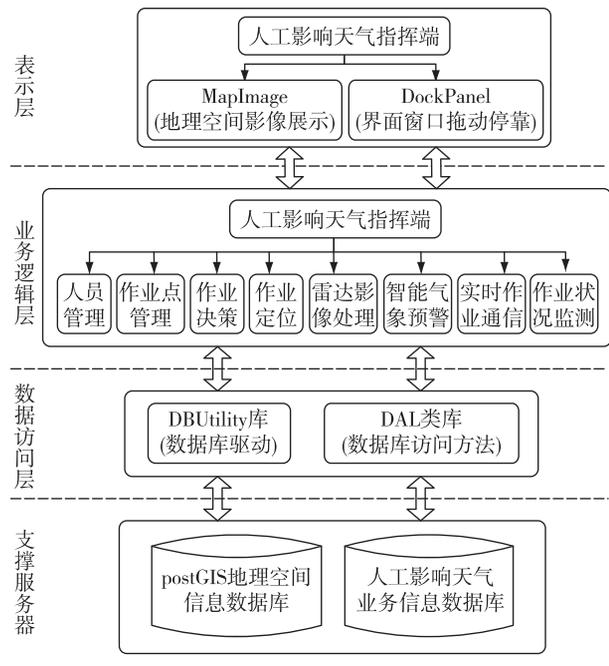


图2 系统分层结构  
Fig.2 Hierarchical system

1.2.2 插件式框架设计

系统采用插件式 GIS 应用框架技术.该应用框

架在程序启动时从动态链接库中加载并生成指挥系统中的插件功能模块,各插件功能模块在程序中均以按钮、工具、窗口等形式实现模块功能<sup>[2]</sup>.应用框架(图3)包括3个组成部分:

1) 宿主程序.宿主程序是整个应用的基础框架,为插件模块提供结构支撑.其中主程序模块根据插件容器中的对象,动态生成UI控件并将插件功能与控件绑定,形成指挥系统最终的用户界面;插件引擎模块通过反射机制解析指定插件文件夹下的动态链接库,获取其中插件的名称、类型、功能等信息并生成与信息相符的插件对象存放在插件容器中,转交给主界面程序处理;通信契约模块即平台与插件默认的一种通信标准,本框架利用接口的形式搭建,插件引擎通过自定义的接口标准从动态链接库中获得承载了接口标准的插件实现类,只有实现了规定接口的类型对象才能被插件引擎认可为插件组件<sup>[3]</sup>.

2) 插件模块.插件式框架是系统具体功能的承载者,开发者只需根据自定义的接口标准为插件编写基本信息与功能实现并保存于动态链接库中即可在程序中添加功能,极大地提高了程序后期功能扩展的效率、降低了维护成本.人工影响天气指挥系统中包含信息管理、作业实时通信、雷达实数据实时监控、实施气象预警、地图影像展示、系统日志等功能

模块,均在程序启动时以插件的形式动态加载以完成程序初始化.

3) 附加组件库.它是为了辅助框架更好地运行而开发的各种工具集和类库,如插件分类函数库、插件容器等.插件分类函数用来判断读取到的插件类的类型是否为系统默认类型,并且进行分类装载,方便插件的动态生成和功能绑定.插件容器的作用是存储不同的插件类对象,供程序运行期间搜索引用.

人工影响天气指挥系统初始化时,插件引擎利用反射机制加载指定路径下的动态链接库并获得插件对象,接着获取接口标准信息,进而利用插件分类库存入相应的插件容器,最后动态生成指定控件并与插件接口类的功能绑定,实现了功能模块的插件式动态加载<sup>[4]</sup>.插件式应用框架可通过编写包含功能模块的动态链接库来调整、添加系统功能,无需改变主程序的系统框架,系统结构具有极强的灵活性,构成了高性能、可重用的GIS应用框架.

## 2 系统实现与关键技术

### 2.1 栅格数据处理模块

GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)是基于X/MIT许可协议的开源栅格空间数据转换库.它通过抽象数据模型(Abstract Datamodel)解析栅格数据格式.抽象数据模型包括数据集、坐标系统、仿射地理坐标转换、大地控制点、元数据、子数据集域、图像结构域、有理多项式系数元数据域、XML域、栅格波段、颜色表.数据集是抽象数据模型的最高层, GDAL将每个栅格文件都抽象成栅格数据集来操作.在人影系统的GIS功能实现中,使用GDAL处理多普勒雷达探测、探空资料等实时气象栅格数据.雷达影像数据集包含了由3组波段组成的色彩成像信息、影像属性信息以及波段的地理参考转换和投影坐标系定义.坐标系统采用Open GIS WKT描述,包含地理坐标系统、全局坐标系统、大地参照系、参考椭球体信息、投影参数、投影类型等<sup>[5]</sup>.

雷达资料监控线程与人影指挥系统同时启动,该线程在程序运行期间实时监听默认生成雷达资料的文件夹.一旦有新的数据产生,线程会立刻进行分析,根据不同城市、不同的气象要素筛选出需要的信息,并在相应的目录下更新用于生成栅格图像文件的txt文档.在用户操作显示回波顶高、回波强度、液态水含量、基本径向速度等功能时,系统根据用户所选择的时间获取对应的二进制雷达扫描数据,利用

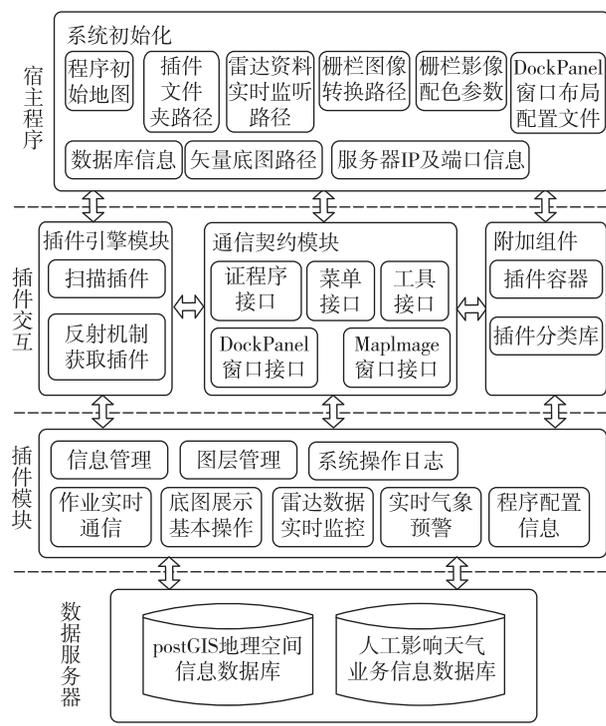


图3 系统插件式框架结构

Fig. 3 Structure of plug-in system

GDAL 开源栅格空间数据转换库配置栅格数据的地理空间坐标系、栅格影像在宽度、高度上的分辨率<sup>[6-7]</sup>,再根据栅格数据的值,在 Tif 文件的 4 个波段中填充相应的 ARGB 类型颜色值,最后将生成的 Tif 栅格数据图像渲染到程序界面的 SharpMapUI 控件中,通过不同颜色的直观显示告知指挥人员当前气象状况以供适时进行气象预警与人工影响天气作业。

## 2.2 地理空间展示模块

系统可根据雷达资料种类(回波顶高、回波强度、液态水含量、基本径向速度)、仰角、雷达类型等参数进行影像展示,同时包括省内各监测雷达圈、作业点信息、作业方位、作业人员、作业实时图像视频等直观显示。此外系统可以根据用户选择的回访时间段(包含年月日,时分秒)进行雷达历史数据的动态影像回放,雷达回放线程在相应的路径下扫描指定时间范围内以及指定雷达资料类型的二进制雷达数据,使用 GDAL 将符合的栅格数据以用户指定的时间间隔依次渲染到程序界面的主地图上,形成动画。

## 2.3 气象预警模块

根据雷达图等气象资料,针对需要实时人工影响天气作业的城市开启预警功能。首先针对回波顶高、回波强度、液态水含量、基本径向速度等气象要素设置预警阈值,并设置作业性质(增雨或防雹)、作业云系特征、作业云系零度层高度、作业目标高度、作业风向等参数,系统将根据栅格数据中包含的坐标信息、雷达数值信息以及附近各炮点的射程自动执行预警算法计算实施作业的作业点、炮点发射方位角、作业用弹量以及作业半径并在地图上将选定作业点预警半径内超过阈值的地点以红色闪烁的方式向用户告警<sup>[8]</sup>。发射仰角是根据作业云层的高度、发射点与作业区域间的距离以及弹道系数确定的。根据预警模块计算出发射仰角等作业参数后即可通过实时通信模块向作业实施人员发出作业相关信息,实现高效、合理的人工影响天气作业。

## 3 通信模式

指挥端与手机的信息交互采用 C/S 模式,通过中转服务器实时交互各类型终端当前的状态信息,在指挥端实现状态的实时变更显示。在进行照片、视频等大数据传递时,手机端通过中转服务器获取对应指挥端 IP 地址以及 UDP 端口号,而后与指挥端

进行 UDP 点对点数据传输,从而减小中转服务器工作负荷,提高系统整体运行效率以及数据传输可靠性<sup>[9]</sup>。中转服务器采用类似 CHAP 协议的通信方式处理指挥端与作业端的登录过程,提高系统安全性。为了确保作业的实时性,中转服务器还采用了心跳包机制获取各终端的即时在线状态。

### 3.1 类 CHAP 协议挑战包

指挥端或作业端连接到中转服务器后,服务器向连接终端发送随机数挑战码,终端根据约定的编码算法计算出对应的响应码,并将响应码与程序类型、版本号等信息返回给中转服务器(图 4)。中转服务器对该响应码进行验证,判断其正确性,若响应码正确无误则向终端发送成功确认消息,登录成功;若响应码错误则强行断开终端与服务器的 TCP 连接。

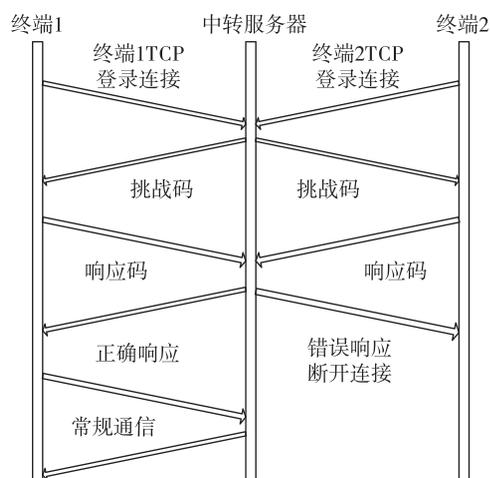


图 4 类 CHAP 协议的心跳包认证机制

Fig. 4 Heartbeat packet authentication mechanism similar to the CHAP protocol

### 3.2 通信数据格式

根据人工影响天气业务需求对数据格式进行了标准化设计,完成了系统中对文字、视频及图片传输的功能需求并实现了终端在线验证与类 CHAP 登录验证。图 5 给出了数据包类图关系。同时数据包类中包含数据长度、源终端和目的终端 IP 地址、信息数据等。采用 TCP 进行数据包传输时,对包中的具体数据信息和数据包整体分别进行 JSON 字符序列化操作,各终端接收到数据包后同样需要进行 2 次反序列化操作才可获得有效数据。该数据格式的可扩展性、安全性、灵活性较强,使用广泛。以程序视频通信模块为例,数据包设计有视频发送状态标签与发送数据两部分。通过识别发送状态类型,接收终端

分别处于启动视频、视频发送、视频结束 3 个阶段,并根据发送的不同阶段实现对视频的完整接收。

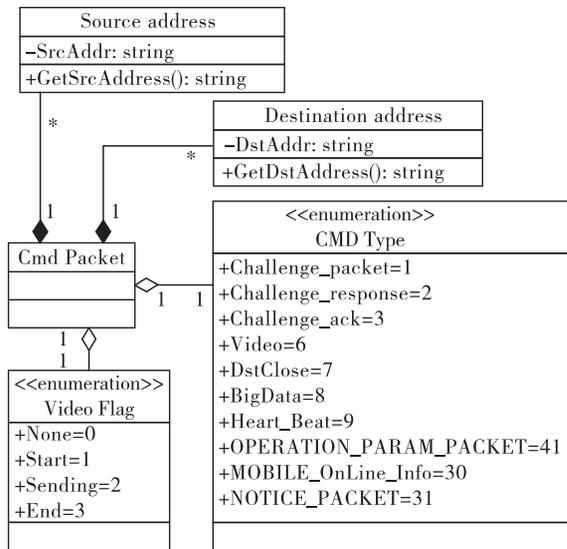


图 5 数据包 UML 结构设计

Fig. 5 The UML structural design of data packet

#### 4 系统运行

指挥端与手机的信息交互采用 C/S 模式,通过中转服务器实时交互各类型终端当前的状态信息,在指挥端实现状态的实时变更显示。在进行照片、视频等大数据传递时,手机端通过中转服务器获取对

应指挥端 IP 地址以及 UDP 端口号,而后与指挥端进行 UDP 点对点数据传输,从而减小中转服务器工作负荷,提高系统整体运行效率以及数据传输可靠性<sup>[9]</sup>。中转服务器采用类似 CHAP 协议的通信方式处理指挥端与作业端的登录过程,提高系统安全性。为了确保作业的实时性,中转服务器还采用了心跳包机制获取各终端的即时在线状态。

#### 4.1 人工影响天气指挥端

本系统为人工影响天气作业的实时、高效完成提供了保障,实现了实时雷达影像监测和作业管理等功能,也实现了作业中指挥与操作人员的即时通信。文字信息与地图空间信息的结合保证了作业的每个环节都得到控制,地图界面实现了基本的地图放大、缩小、漫游、显示全图等功能,为指挥人员提供直观的视图操作,可提高作业精确性。同时结合图文交互查询功能(包括鼠标漫游查询、气象条件查询、时间范围查询等)了解作业时间、作业方位、作业条件等实时信息,完善作业流程。通过实时预警功能在地图上直观显示警示区域,为指挥人员提供智能的作业决策参考,有效提高了作业效率。图层管理分为省辖市图层、雷达圈、雷达参数、作业点、预警范围。作业点信息包括站点基本情况、高炮参数、人员信息、联系方式等。图 6 为指挥端雷达影像监测图像。

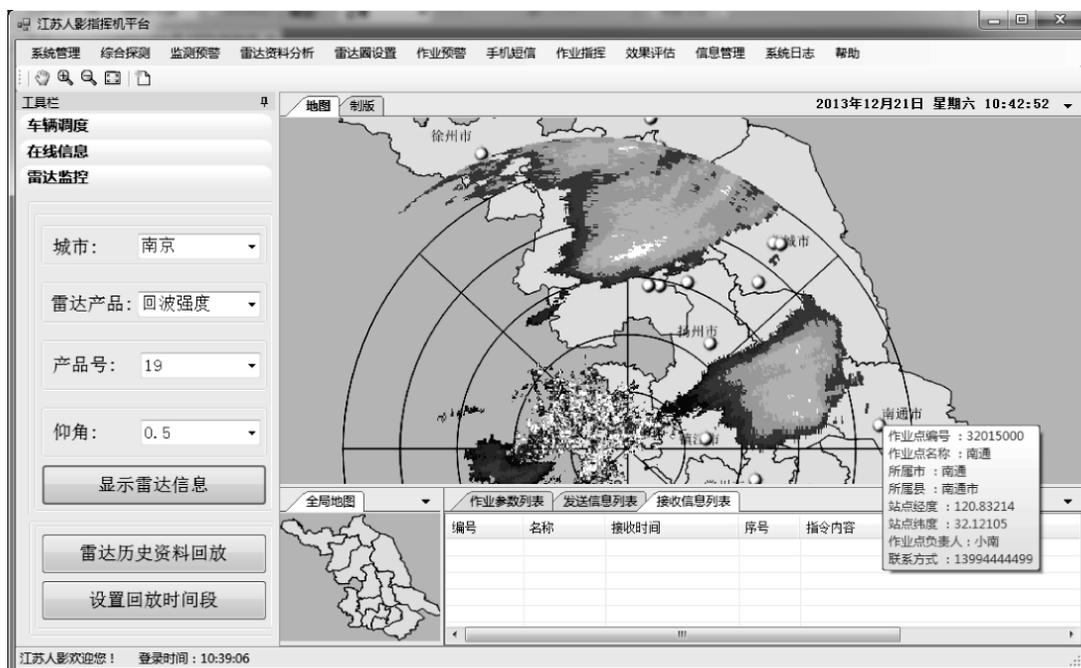


图 6 指挥端雷达影像监测

Fig. 6 Radar image monitoring at command terminal

## 4.2 人工影响天气作业实施端

基于 Android 的人工影响天气作业实施端主要实现作业指令收发、心跳包检测机制、作业信息管理、作业地图导航、雷达回波图像、卫星云图显示以及 GPS 数据定时回传、作业现场的图像及视频回传。该系统具有通信速度较快、稳定性强,图文直观、操作简便、维护方便等功能,系统界面如图 7 所示。



图 7 手机实施端消息收发

Fig. 7 Send and receive message on the mobile terminal

## 5 结语

基于 GIS 的人工影响天气系统,为人工影响天气作业组建了高效合理的业务平台,提高了后期程序功能扩展和维护的效率,并大大降低了开发和维护成本。该方案具体优势如下:

1)采用插件式体系结构设计开发了一个具有可

扩展业务架构的指挥系统软件平台并有效地集成了人影指挥系统的各项业务需求;

2)动态加载指挥系统中的 GIS 插件功能模块,使各功能模块的开发工作得以独立完成,便于系统功能扩展;

3)采用开源 GIS 类库,与 ArcGIS 相比,本系统开发费用低廉、功能实现完善、对于 Window 系统支持良好,进一步保证了人工影响天气系统整体的稳定性;

4)具有良好的网络实时通信功能,在人工作业时指挥人员与作业人员搭建了可靠、安全、高效的沟通平台。

人工影响天气系统推动了人工影响天气作业的信息化建设,保证了作业与决策的科学性、及时性、高效性,对传统人工影响天气作业模式进行了合理的改革创新,在系统高性能运行的同时,更多的插件功能扩展将使其拥有良好的应用前景。

## 参考文献

### References

- [ 1 ] 孙彦富.人工影响天气在气象防灾减灾中的作用及发展对策[J].现代农业科技,2013,18(8):338  
SUN Yanfu. Weather modification's application in meteorological disaster prevention & reduction and its future development[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2013, 18(8): 338
- [ 2 ] 章志,都金康,卓凤军,等.基于.NET反射机制的GIS插件技术研究[J].测绘科学,2011,36(4):151-155  
ZHANG Zhi, DU Jinkang, ZHUO Fengjun, et al. GIS plug-in technology based on .NET reflection mechanism[J]. Science of Surveying and Mapping, 2011, 36(4): 151-155
- [ 3 ] 孙丽,高飞,胡小华,等. ArcEngine 插件式 GIS 二次开发框架的设计与实现[J].测绘科学,2011,36(5):214-216  
SUN Li, GAO Fei, HU Xiaohua, et al. Design and realization of framework for plug-in GIS secondary development based on ArcEngine[J]. Science of Surveying and Mapping, 2011, 36(5): 214-216
- [ 4 ] 陈红华,李满春,李飞雪.插件式 GIS 应用框架的设计与实现[J].地理空间信息,2011,9(2):26-28  
CHEN Honghua, LI Manchun, LI Feixue. Design and implementation of plug-in GIS application framework[J]. Geospatial Information, 2011, 9(2): 26-28
- [ 5 ] Jin J S, Lee H J, Rhew S Y. Reliability evaluation metrics for open source software selection[J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2010, 1(3): 281-284
- [ 6 ] Wang W X. Application of open-source framework based on Struts and Hibernate[C]//The 2nd Asia-Pacific Conference on Information Theory, 2011: 55-58
- [ 7 ] 刘昌明,陈萃. GDAL 多源空间数据访问中间件[J].地

- 理空间信息, 2011, 9(5): 58-61
- LIU Changming, CHEN Luo. GDAL multi-source spatial data access middleware [J]. Geospatial Information, 2011, 9(5): 58-61
- [ 8 ] 杜景林, 尚金龙, 薛建军. 人工影响天气作业效果评估系统设计 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(2): 152-156
- DU Jinling, SHANG Jinlong, XUE Jianjun. Designing operation effect assessment system for weather modification [J]. Computer Applications and Software, 2013, 30(2): 152-156
- [ 9 ] 缪一心, 吕智慧, 杨明, 等. 基于 TCP 的 P2P 点播系统 NAT 穿越设计 [J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(12): 61-63
- MIAO Yixin, LÜ Zhihui, YANG Ming, et al. Designing NAT traversal for TCP-based P2P video-on-demanding system [J]. Computer Applications and Software, 2010, 27(12): 61-63

## Plug-in weather modification system design based on open source GIS

CAI Supeng<sup>1</sup> DU Jinglin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Electronic & Information Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** Abstract The frame structure of and GIS application in weather modification terminal software are summarized in aspects of features and problems. A plug-in weather modification system based on open source GIS is designed according to the specific business needs of weather modification. The system structure is developed on .NET and designed by the secondary development of plug-in GIS application framework. The GIS function is realized through a combination of GDAL and SharpMap, thereafter the function of plug-in modules and the realization of GIS modules are described in detail, and the specific design method for weather modification command system is also given. Actual operating practices show that, the command system improves the efficiency of function expansion and post-maintenance of weather modification business system.

**Key words** weather modification; plug-in application framework; GDAL; SharpMap; Radar data