

天山西部林区护林防火信息系统构建

刘玉锋, 李 虎, 陈功照
(福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要: 天山西部林区护林防火信息系统是综合运用空间信息技术、数据库技术及森林防火专业技术, 依托地理基础信息、森林资源信息及护林防火专题信息, 在 ArcGIS Engine 开发平台上, 通过 VB.NET 可视化开发语言的二次开发, 构建的专业应用系统。该系统的框架包括数据库及林火预测预报、火灾指挥扑救、灾后损失评估、森林资源管理等子系统, 可实现火点智能定位、火场信息查询显示、辅助决策指挥等具体功能。为林区护林防火部门进行宏观管理、分析决策提供多源、及时、科学的空间信息服务, 旨在改善林区防灾、减灾及森林安全工作的被动局面, 提升林火管理的科学化、信息化水平。

关键词: 护林防火; 决策支持; GIS 二次开发

1 前言

天山西部林区位于我国新疆伊犁地区境内, 林区分布范围为 $E 80^{\circ}09'42'' \sim 84^{\circ}56'50''$, $N 42^{\circ}14'16'' \sim 44^{\circ}55'30''$ 。包括察布查尔、巩留、霍城、蒙玛拉、尼勒克、特克斯、新源、伊宁、昭苏等 9 个山区国营林场。林区经营总面积为 165.53 万 hm^2 , 森林活立木蓄积 6 885 万 m^3 , 是我国面积最大的雪岭云杉林分布区^[1,2]。该林区孕育了天山水系及大面积湿地、绿洲, 是新疆重要的水源涵养林资源, 在维护自然环境平衡以及人类生存生活空间方面占有举足轻重的地位。林区草地、林地相互交错分布, 林木以近、成、过熟林为主, 干枯的风倒木较多, 可燃物载量大, 加之近年来森林旅游业迅速发展, 林区活动人员不断增多, 林区的重点防火期也正是各种人员活动的频繁期。因此, 天山西部林区是一个森林火灾多发区。

天山西部林区护林防火基础设施建设十分薄弱, 森林防火总体上还处于初级水平: 林火的预防主要靠护林防火人员的死看死守; 林区管护所、防火站、瞭望台等数量不够且分布不合理; 电台等通讯设备短缺, 覆盖面小; 森林火灾监测、预防体系尚不完善; 护林防火人员编制不足, 人均森林管护面积大、巡护周期长, 部分地带森林火情甚至难以及时发现和报告, 林区森林防火工作

长期处于严峻态势。

随着信息技术的快速发展, “3S”技术在森林防火管理中的应用日趋广泛。利用 GIS 空间信息技术, 构建集林火遥感监测、火险等级预报、林火指挥扑救、火灾损失评估以及林火日常管理于一体的护林防火管理信息系统, 是解决天山西部林区资源管理信息不畅、森林防火监控不利等问题的有效途径, 对改善林区森林防火、减灾及森林安全工作, 提升林火管理的科学化、信息化水平都具有重要意义。

2 系统结构与功能设计

天山西部林区护林防火信息系统是以森林防火为对象, 以森林资源本底数据、护林防火专题信息及卫星遥感图像为数据源, 基于“3S”技术及计算机技术, 构建的集林火信息管理、预测预报、指挥扑救及灾后处理于一体的综合应用系统。系统在结构上主要由数据库和模型子系统两部分构成, 其中数据库包括空间数据库和属性数据库两大类; 模型子系统包括查询、显示及输出子系统、火灾预测预报子系统、林火指挥扑救子系统、火灾损失评估子系统及森林资源管理子系统 5 个功能模块。系统的体系结构如图 1 所示。

收稿日期: 2006-10-19, 修回日期: 2007-02-10

作者简介: 刘玉锋 (1981-), 男, 硕士生, 主要研究方向: 遥感与地理信息系统建模等。E-mail: liuyufeng941@163.com

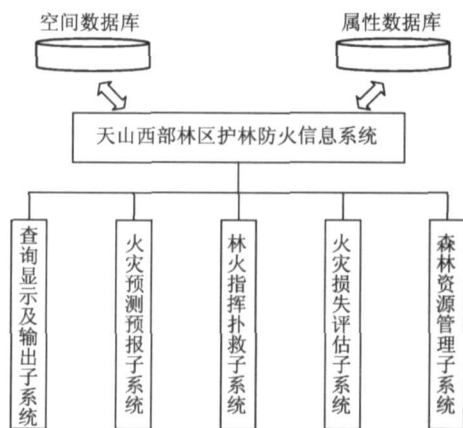


图 1 系统的体系结构

Fig 1 System overall structure diagram

2.1 系统数据库的构建

系统数据库是存贮护林防火信息系统所需数据的“仓库”，是整个护林防火信息系统的重要技术支撑，任何子系统功能操作都要以数据库的调用为基础和前提。因此，系统数据库的构建就显得十分重要。

(1) 系统数据的选取

组成系统数据库的核心部分就是数据，护林防火信息系统所需的基础数据主要包括：

①基础地理数据：全国 1:25 万基础地理数据库地形数据，包括山峰、道路、河流、湖泊、居民地、等高线等图层。

②遥感卫星数据：CBERS 卫星遥感影像作为工作底图，NOAA、MODIS 气象卫星数据用于发现林火并进行火点定位。

③森林资源本底数据：林相图（1:2.5 万），森林资源分布图（1:2.5 万），用于提供森林资源分布及可燃物类型分布；

④护林防火专题数据：与护林防火密切相关的专题信息，包括管护所、管护站、防火办的所在位置，是否配备电台，有无瞭望台，防火物资、防火设施设备储备情况，火灾档案、热点档案、扑火预案，以及专业森林消防队、半专业森林消防队、业余森林消防队部署等。

(2) 系统数据的处理

系统数据库的构建要严格遵循标准化、规范化原则。因此，在选择系统所需的基础数据后，还需要进行必要的加工和处理，如：统一格式、归一化处理等，才能将其纳入系统数据库中。

山峰、道路、河流、湖泊、冲沟、陡岸、居

民地、行政区、等高线等地形要素需要从全国 1:25 万基础地理数据库的地形数据中逐一提取出来，并将其分层存储为地形要素矢量图层。系统将这些地形要素矢量图层叠加在一起作为二维平面的基础地理底图，而构成三维地形框架的 DEM 数据则是由其中的等高线、高程点以及具有地形特征的道路、河流、冲沟、陡岸等图层经过 Arc/Info 软件 Spatial Analyst 模块处理先转化为 TIN，再转化为 Grid。

CBERS 卫星遥感影像经过几何精校正、DEM 正射校正后作为三维地形的纹理覆盖层；NOAA、MODIS 气象卫星数据要经过配准、校正，以保证其与地理底图具有统一的投影方式和投影参数。

反映森林资源专题信息的林相图、森林资源分布图等来源于 2005 年天山西部林业局山区国有公益林遥感区划成果和森林资源清查数据。由于原始数据存储采用了 MapGIS 软件的存储格式，不能与系统中其他的数据统一，需要经过格式转化，存储为 Arc/Info 的内部格式（coverage）。

护林防火专题信息是林火管理过程不可或缺的重要组成部分，对林火预测预报、指挥扑救等都有着至关重要的影响。这些信息资料在逐渐积累中形成，并仍处在不断更新中，在内容、形式上还不能够完全统一，如：有文本、表格、图片、视频等，所以，它需要重新归类整理，并采用统一的数据表格存储。

(3) 系统数据库的构建

空间数据库采用 Arc/Info 的地理数据库（Geodatabase）模型存储空间数据。将处理的空间数据经过统一的编码，以服务于数据的检索、查询，并经归一化处理，保证整个数据库中的数据均具有相同的投影方式和投影参数，以实现地物特征的坐标匹配、数据叠加、接边等的操作需要，从而使数据空间延伸性得以保证。表 1 所示为空间数据库图层文件。

属性数据中与空间数据紧密结合的部分，如山峰、道路、居民地、河流的名称；基于小班的森林资源专题属性，如小班号、郁闭度、优势树种、林地类型等直接存储于 Arc/Info 的地理数据库（Geodatabase），护林防火信息，如管护站（所）、防火物资储备、火灾档案等则制定统一的二维数据表，采用 Microsoft Access 2003 存储。其中，护林防火信息库属性数据如表 2 所示。

表 1 空间数据库图层文件
Tab. 1 Contents of spatial database

数据库名	几何特性	图 层 名
地理基础信息库	点	山峰、居民地、坝、水闸、泉、水井、道路附属物
	线	道路、河流、冲沟、陡岸、陡石山、等高线、行政界线
	面	河流、湖泊、水库
	文字	山峰注记、道路注记、河流注记、湖泊注记、居民地注记
森林资源数据库	面	林相图、森林资源分布图
护林防火信息库	点	管护所、管护站、木材检查站、物资储备库、扑火队伍、电台、瞭望台、火点
	线	扑火路径
	面	过火面

表 2 护林防火信息库数据文件
Tab. 2 Contents of forest fire protection database

数据表	字段数	字 段 名
管护所	11	ID、名称、所属林场、所辖管护站、经度（度、分、秒）、纬度（度、分、秒）、海拔、所辖林斑、管护面积、所长、管护人员及联系电话
管护站	11	ID、名称、所属管护所、经度（度、分、秒）、纬度（度、分、秒）、海拔、所辖小班、管护面积、瞭望台、电台、管护人及联系电话
木材检查站	8	ID、名称、所属林场、经度（度、分、秒）、纬度（度、分、秒）、海拔、负责人、联系电话
物资储备库	8	ID、名称、所属林场、经度（度、分、秒）、纬度（度、分、秒）、海拔、负责人、联系电话
扑火队伍	8	ID、名称、队伍性质、兵力、装备、巡护范围、负责人、联系电话
电台	8	ID、名称、经度（度、分、秒）、纬度（度、分、秒）、频率、服务半径、负责人、联系电话
瞭望台	8	ID、名称、经度（度、分、秒）、纬度（度、分、秒）、海拔、瞭望半径、负责人、联系电话
火灾档案	10	ID、发现时间、起火地点（经度、纬度）、起火原因、火险等级、过火面积、林木蓄积损失、火灾经济损失、扑火人数、扑火工具

数据库采用分层管理的模式，并根据功能主题，模仿数据仓库技术^[3]，划分为地理基础数据库、森林资源数据库、护林防火信息库、火灾损失评估数据库、决策方案知识库等多个专题子数据库。在数据调度中，根据用户的视野范围，采用分级显示技术，即将所有数据建立在一个工作空间中，不同类型及不同比例尺数据放在不同的数据源中，根据用户的需要加载相应的数据。空间数据库与属性数据库之间通过唯一标示码（如：小班号）连接，以实现系统在调用数据过程中的联动。

2.2 子系统及其功能设计

(1) 查询、显示及输出子系统：为满足用户

对基础数据以及各种护林防火专题数据的查询需求而设计，具有空间位置、属性、范围及关系等多种查询功能，能够完成图到属性、属性到图的交互查询，并且可以实现二维、三维联动显示。系统启动时默认调用若干空间矢量图层，包括山峰、道路、水系、居民地、DEM 和遥感影像等，用户可以根据需要选择是否显示及任意放大或缩小；点击图中的某一位置或通过关键词（如：小班号）检索就可以显示出定位点的经纬坐标、高程值、坡度、坡向、坡位等信息，并能以列表形式弹出包括林斑号、小班号、郁闭度、林种、林分密度等在内的森林资源专题的详细属性信息；通过关键词（如：时间、位置等）检索护林防火信息库，系统会以火的符号在地图上定位出火灾

发生的位置,并以图标符号的大小代表火险等级程度;采用系统预设方案,可以实现所选图层依据专题属性的分区、分级、分层设色显示,还可以将三维地形图层与林业专题图层(比如林相图)融合处理生成专题立体图^[4];系统提供了数字地图到电子沙盘状态之间的任意切换,可以三维立体显示坡度、坡向、坡位等空间信息,并提供由鼠标操纵实现的任意路径或从系统提供的若干路径中选择指定路径的漫游及飞行功能,从而对森林资源进行全方位、多角度的观察与分析。

(2) 森林火灾预测预报子系统:利用GIS可以对林火的发生、发展进行综合分析,并将林火的火险分析情况以形象、直观的形式展现出来,以供护林防火管理者参考使用。林火的发生、发展与天体运动、气象条件、地表覆盖物等因素密切相关,林火的预测预报就是通过接收气象资料(包括气温、湿度、温度、风向、风力等),并综合森林资源信息和地形、地貌等信息,调用森林火险等级分析模型^[5]进行分析,得出森林火险等级分布图,从而对处于高森林火险等级的林区发布预警信息,并制定相应的巡护路线和时间表进行巡护。

(3) 实时指挥决策子系统:在发现火情或接到热点报告,包括根据NOAA、MODIS卫星感知的热点影像数据或上报的火情的具体位置,该系统能准确进行林火定位,并根据林火发生的具体地理位置迅速反映出火灾发生地区的地形、地貌等有关信息,然后根据这些基础性数据,生成火场蔓延趋势图;通过在给定范围内搜索中心火点周围的扑火队伍、救火设施分布情况,并根据交通道路的分布情况,以及扑火队伍的实际位置和所到达目的地的信息,自动计算出最佳的行进路线、次佳行进路线以及达到目的地所需的时间。综合以上信息,系统从安全性、合理性、经济性、实效性等方面考虑,自动生成扑火预案:最有效地调配消防力量与消防资源,尽可能地降低火灾所造成的经济损失与人员伤亡。其中,火场总指挥员的判断与方案选取也是极为重要的,火场中涉及一些复杂的不确定性因素,许多决策是知识库中无法提供的。为此,系统预留了标绘工具,决策者可以根据自己丰富的经验实时加入计算机的辅助决策中以及及时获取最佳预案。

(4) 火灾损失评估子系统:在林火发生的实

际过程中,该子系统根据风力、风向、气温、湿度等气象条件判断火场可能蔓延林区的范围,叠加相应的专题图层,通过空间分析计算可以初步得出可能受灾人口数、受损森林树种、火灾扑救难度等,进而为科学建立灭火隔离带,合理布防灭力等提供定量指标。森林火灾发生后,该子系统采用遥感图像与林相矢量图配准、叠加的方法,识别火烧区域的边界,进而获取受灾区域多边形,通过对受灾区域遥感影像的解译和重新分类,并调用森林资源专题数据库中龄级、林种、郁闭度、林分密度等因子,确定毁坏林分的组成结构,进而计算出森林火灾损失。依据“中华人民共和国林业行业标准”的“森林火灾经济损失额统计标准”,森林火灾损失由直接经济损失额和间接经济损失额构成:直接经济损失指森林火灾中直接被烧损的林木资产、林产品及农牧产品的经济损失,间接经济损失是指森林火灾现场施救费用和因火灾而引起的停工、停产、停业损失以及人员伤亡费用等。同时,该子系统提供添加、修改、删除等编辑工具,通过火灾损失评估可以实现及时更新数据库,保证数据的现势性。

(5) 森林资源管理子系统:即是森林资源连续清查和“二类”调查数据管理系统。森林资源清查数据和“二类”调查数据是护林防火工作开展的重要基础,通过它们可以及时准确地掌握森林资源状况和消长变化动态^[6],从而预计火灾易发林区及危害范围,为林火的预防提供信息支持。因此,森林资源清查数据和“二类”调查数据的时态性就显得尤为重要。系统提供了多维可视化平台和强大的管理工具,可以将森林资源地理数据(如小班区划)和小班调查数据集成到空间视图平台,实现森林资源档案信息集成化管理。当森林资源信息发生变化时,利用其对图形数据和属性数据的及时添加、修改、删除及历史数据的维护等功能,实现森林资源信息的存档和同步更新。

3 系统的集成与应用

3.1 系统的实现

GIS系统开发的实现方式主要有三种^[7,8]:①独立开发;②单纯二次开发;③集成二次开发。利用专业GIS工具软件,如ArcGIS MapInfo等,

在可视化开发环境（如 Visual Basic、Visual C++、Delphi等）中，将 GIS控件嵌入用户应用程序中，实现 GIS的基本功能。

天山西部林区护林防火信息系统采用集成二次开发方式，是在 ArcGIS Engine开发平台的基础上，运用可视化开发语言 VB.NET 集成开发而成的。ArcGIS Engine是 ESRI公司提供的基于接口编程的组件，可以在脱离 ArcGIS Desktop 的环境下，采用通用的开发平台（如：C++、VB、Delphi等）构建独立的应用程序。ArcGIS Engine提供了 21个封装了 ArcGIS 底层功能的组件对象库，包括：图形库（ESRI Geometry）、显示库（ESRI Display）、制图库（ESRI Carto），以及扩展的三维分析库（ESRI 3D Analyst）、网络分析库（ESRI Network Analyst）等。在系统开发过程中，选取其中相应的组件，并结合其他空间及非空间型的应用分析模型，开发得到查询、显示及输出子系统、

火灾预测预报子系统、林火指挥扑救决策子系统、火灾损失评估子系统及森林资源管理子系统 5 个功能模块，然后将这些功能模块组合装配到护林防火信息系统的可视化平台当中，实现了系统在数据库中的检索、漫游，图形数据的时空分析、属性数据的统计分析，不同精度、比例尺空间数据的无缝连接和多级显示，以及矢量与栅格数据的交叉访问等功能。由于采用了基于 ArcGIS Engine建立起来的 GIS系统，系统在深入挖掘数据的空间关系，强化 GIS组件的数据分析和处理功能的基础上，实现了 GIS组件与非 GIS控件的无缝集成，能够更好地满足林区护林防火部门的专业需求。

3.2 系统的应用

天山西部林区护林防火信息系统主界面如图 2 所示。

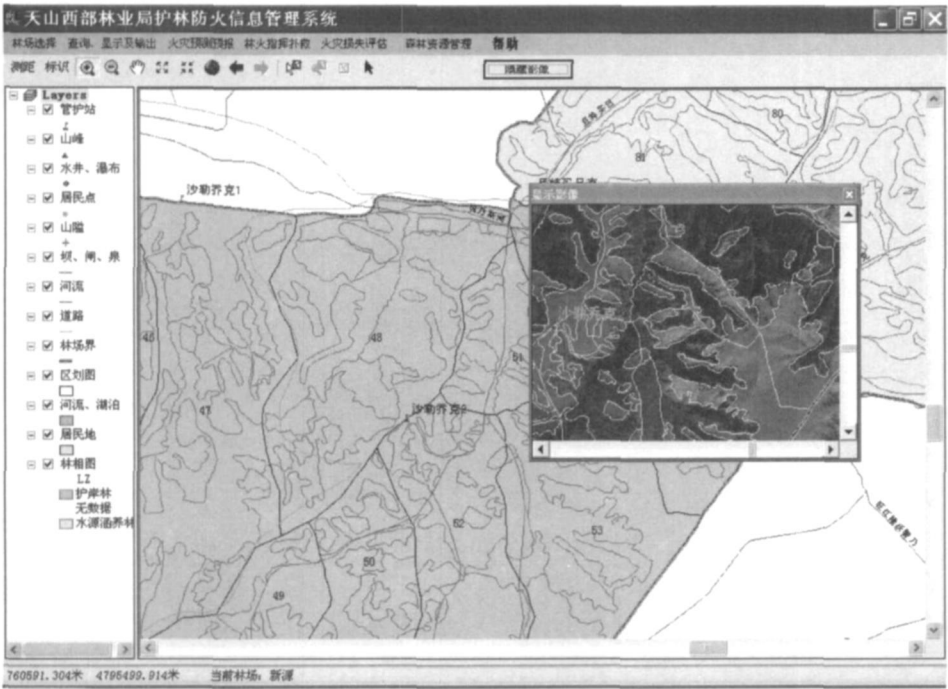


图 2 系统主界面
Fig.2 System development process

天山西部林区护林防火信息系统将森林资源专题信息、森林火灾防护信息与空间地理位置有机地结合在一起，实现了森林资源管理及森林火灾的预测、防护和处理等多项功能于一体。系统的建成并投入天山西部林业局 9 个林场使用，不

仅为林区森林防火的日常管理提供服务，而且能够实现森林火险的预测预报，在第一时间内发现火点，及时扑灭。该系统在实际运行中性能稳定、界面友好、操作灵活，业务化程度高，提高了森林防火的科学性、合理性，达到了预期的效果。

4 结语

天山西部林区护林防火信息系统实现了森林资源管理、火险预测预报、火点智能定位、火灾损失评估等功能，但该护林防火信息系统仍存有不足之处。系统的今后开发应加强与巡护体系的结合，特别是要加强林火自动监测与报警技术和卫星林火监测应用技术的研究，实现林业局、林场、管护站所三级信息联网与互动指挥，形成天山西部林区森林防火立体监测与防护体系，使其能在森林防火业务中发挥更大的效用。

参考文献

[1] 李 霞, 李 虎, 方建国 等. 新疆天山西部林区实施天然林保护工程的问题和对策. 林业资源管理, 2003, (5): 5~ 8

[2] 潘存德, 多里坤, 师瑞峰 等. 新疆天山西部林业局天然林资源保护工程及现行政策评价. 新疆农业科学, 2003, 40 (3): 129~ 132

[3] 万鲁河, 刘万宇, 臧淑英. 森林防火辅助决策支持系统的设计与实现. 管理科学, 2003, 16 (3): 1~ 24

[4] 陈伟海, 马祖陆, 何观德 等. 桂林市电子沙盘设计及其功能. 地球信息科学, 2000, 2 (6): 66~ 69

[5] 肖 炊, 欧阳志云, 王效科. GIS在森林火灾管理中的应用研究. 第五届 ArcGIS暨 ERDAS中国用户大会论文集, 2002, 83~ 91.

[6] 赵颖慧, 曲笑岩, 李凤日. 基于 GIS的森林资源管理信息系统. 东北林业大学学报, 2006, 34 (2): 104~ 108

[7] 郭 伦, 刘 瑜, 张 晶 等. 地理信息系统原理、应用与方法. 北京: 科学出版社, 2002, 133~ 138

[8] 贾艳鹏, 胡社荣, 李凤久 等. 基于组件的地理信息系统开发技术. 矿山测量, 2003 (1): 44~ 45, 54

Construction of the Forest Fire Protection Information System of West Tianshan Forest Area

LIU Yufeng LIH u CHEN Gongzhao

(College of Geographical Sciences of Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract The construction of the forest fire protection information system of west Tianshan forest area is one of the integrative material applications of GIS (Geographic Information System) to forest resources management. Under the support of spatial information technique, database technique and the forest fire protection technique, based on the development platform of ArcGIS Engine, this information system was established with VB. NET computer program language. Its main structures include forest resources management sub-system, forest fire forecast sub-system, decision support sub-system for forest fire, losses evaluation sub-system of forest fire and sys-database. We can use this information system for practical applications, such as intelligent position of the fire point, information retrieval of the fire point, decision of extinguishing fire plan, exact estimate cost of fire loss, and so on. The results of the work provide a scientific basis for macroscopic management and decision support on the forest fire matters concerned, and it would promote the technique innovation for preventing forest fire in west Tianshan forest area.

Key words forest fire protection, decision support, application development