

基于组件式 GIS 的太湖流域 洪涝灾害评估系统^{*}

吴浩云¹ 江南² 俞高宇² 杨爱辉³

(1: 河海大学, 南京 210098; 2: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;

3: 水利部太湖流域管理局, 上海 200434)

提 要 太湖流域洪涝灾害评估系统是太湖流域防汛决策支持系统的一个重要组成部分, 对准确、及时地预测预报和评估太湖流域洪涝灾情, 为防汛抗洪、抢险救灾提供科学依据具有重要意义. 本文从 GIS 应用开发的角度, 系统介绍了 GIS 软件的技术体系、系统的技术框架、空间数据库的特点和作用以及系统的主要功能.

关键词 太湖流域 评估 系统 功能

分类号 P343.3/P283.8

1 引言

太湖流域是我国经济最发达地区之一, 据 1999 年统计年鉴, 太湖流域耕地面积约 $133 \times 10^4 \text{hm}^2$, 占全国的 1.53%, 而国内生产总值高达 8937 亿元, 占全国的 10.91%. 然而, 地势低洼、圩区连片、梅雨期的大强度连续降雨, 再加上河流泄水不畅和比较低的防洪除涝标准, 致使该地区洪涝频仍. 1949 年新中国成立以来, 太湖流域就发生了 1954、1991 和 1999 年三次全流域性的特大洪涝灾害, 给流域的人民生活和社会经济造成巨大的损失^[1-3]. 其中, 1999 年百年不遇的特大洪水, 全区经济损失 131 亿元^[4].

做好太湖流域的防洪减灾工作, 保障区内经济的持续发展, 已成为十分迫切的任务. 而单纯依靠水利工程措施是不够的. 因此, 除了继续进行太湖治理的工程建设外, 还要加强防洪非工程措施的建设, 以达到最大限度的防洪减灾的目的. 利用计算机和 GIS 技术, 通过网络实时采集流域的降水和水位数据, 根据流域的空间和非空间本底数据, 准确、及时地预测预报和评估太湖流域洪涝灾情, 做出防洪调度决策, 为防汛抗洪、抢险救灾提供科学依据. 事实上, 这已是摆在我们面前的、关系到地区经济可持续发展的一项战略任务.

太湖流域洪涝灾害评估系统是太湖流域防汛决策支持系统的一个重要组成部分, 本文从 GIS 技术的角度, 阐述 GIS 软件的技术体系、系统的技术框架、空间数据库的特点和作用以及太湖流域洪涝灾害评估系统的主要功能. 由于太湖流域的特殊性, 特别对太湖流域的 DEM、圩区、土地利用等空间数据库在洪涝灾害评估系统中的作用作了较详细的介绍.

2 GIS 软件技术体系

GIS 是一门综合性的技术, 是一种对空间数据和非空间数据进行采集、编辑、存储、更新、

* 收稿日期: 2000-11-20; 收到修改稿日期: 2001-02-21. 吴浩云, 1963 年生, 高级工程师.

分析和输出等处理的工具。GIS 软件技术体系,即 GIS 软件的组织方式。从 GIS 的发展历程看,GIS 软件技术体系可以划分为 GIS 模块、集成式 GIS、模块化 GIS、组件式 GIS 和万维网 GIS 五个阶段。

2.1 GIS 模块

在 GIS 发展的早期阶段,由于受到计算机硬件和软件技术的限制,GIS 系统功能比较单一,只是满足于某些要求的功能模块,没有形成完整的系统,各模块之间不能协调统一。这一阶段可以称为 GIS 模块阶段。

2.2 集成式 GIS

随着 GIS 理论方法和计算机技术的发展,各 GIS 模块走向集成,逐步形成大型的 GIS 软件包,称之为集成式 GIS,如 Arc/Info、MapInfo 等著名软件是集成式 GIS 的典型代表。集成式 GIS 的优点在于集成了 GIS 的各项功能,形成独立完整的体系;其缺点则在于系统过于复杂、庞大。集成式 GIS 系统成本高,亦难于与其它软件进行系统集成。

2.3 模块化 GIS

另一类为模块化 GIS,代表软件为 Intergraph 的 MGE。模块化 GIS 的基本思想是将 GIS 按功能划分为一系列模块。尽管许多集成式 GIS 软件也被划分成几个大的模块,但模块化 GIS 软件的模块被有目的地划分得更细。无论是集成式 GIS 还是模块化 GIS,均难与其它应用系统一起集成为高效、统一的整体。

2.4 组件式 GIS

随着计算机软件技术的发展,软件组件化发展到了一个全新的阶段。组件式平台主要有 Microsoft 的 COM (Component Object Model,组件对象模型)/DCOM (Distributed Component Object Model,分布式组件对象模型)和 OMG 的 CORBA (Common Object Request Broker Architecture,公共对象请求代理体系结构),目前 Microsoft 的 COM/DCOM 占据市场主导地位。基于 COM/DCOM,Microsoft 推出了 ActiveX 技术。作为 ActiveX 技术的重要内容,ActiveX 控件是当今可视化程序设计中应用最为广泛的标准组件。GIS 出现了组件式 GIS (Components GIS),GIS 组件之间以及 GIS 组件与其他组件之间可以通过标准的通信接口实现交互。

组件式 GIS 不仅可以成功地克服传统 GIS 在软件开发、应用系统集成和用户学习使用等方面的不足,而且有利于降低应用系统开发成本,使系统具有无限的扩展空间。国际上大多数 GIS 软件公司已将开发组件式 GIS 软件作为重要的发展战略之一。

2.5 Web GIS

当前,Internet 正以惊人的速度膨胀和发展,Internet 已不仅仅是一种单纯的技术,它已演变成一种经济方式——网络经济。现代人们的生活已离不开 Internet,大量的应用正由传统的 C/S 方式(客户机/服务器)向 B/S 方式(浏览器/服务器)转移,GIS 技术也是如此。GIS 技术和 Internet 技术的融合,形成一种新的技术,称之为 Web GIS。它是一种以计算机网络为基础,将服务器、客户机连接在一起,实现远程通信,从而达到共享软硬件及地理信息资源目的的系统。它在 Internet 上的应用为典型的三层结构,包括客户机、应用服务器、Web 服务器、数据库服务器。这种方式又称为瘦客户机系统。瘦客户机系统是指在客户机没有或者有很少的应用代码。在过去的终端和主机的体系结构中,所有系统都是瘦客户机系统。现在随着 Internet 技术以及 Java、ActiveX 技术的出现,瘦客户机系统又重新出现。客户机负责数据结果的显示、用户

请求的提交,应用服务器和 Web 服务器负责响应和处理用户的请求,而数据库服务器则负责数据的管理工作。Web GIS 的出现,使得全球范围内任意一个 WWW 节点的 Internet 用户都可以访问 Web GIS 服务器所提供的各种 GIS 服务。而且通用的 Web 浏览器大大降低了系统操作的复杂性,普通用户亦可直接操作。

3 系统结构

太湖流域洪涝灾害评估系统是空间数据库管理、非空间数据库管理、洪涝灾害评估模型库管理以及洪涝灾害预测、灾中评估和结果输出于一体的一个集成运行系统。要实现该系统的诸多功能,尤其实现对空间数据库的管理,利用组件式软件技术是一种比较明智的选择。

3.1 操作系统与开发工具

在 Windows NT 操作系统下,利用 Visual C++ 6.0 作为系统编程工具,MapX 4.0 ocx 作为组件式 GIS,完全符合 ActiveX 控件标准,通过使用 MapX 控件可以实现对空间数据库的基本管理,Access 是一个关系数据库管理系统,编程工具通过 DAO,实现对非空间数据库的管理。

3.2 系统开发与运作思路

系统在 Client/Server 架构下,作为客户端,通过局域网实现对计算机实时报讯系统的太湖流域各水文站点的数据库文件进行查询和调用。由于水文站点的数据有可能存在遗漏等情况,需重新建立报讯站点坐标体系,采用趋势面(或线性)插值法,插补出各乡中心点雨量、水位。根据实际水位或模拟水位、数字高程模型 DEM 以及太湖流域圩区图,计算太湖流域洪涝灾害淹没范围与淹没水深,再计算出淹没范围内行政区面积,通过查询重要目标经济数据库和土地利用数据,根据不同的位置、不同的时间、不同的重要目标经济损失指标,求出各行政区的淹没面积、农作物受灾面积、受灾人口、破圩数量、受灾的主要大型基础设施、直接经济损失等。

3.3 系统技术框架

图 1 中空间库管理是指利用空间数据库管理模块管理太湖流域地理背景、土地利用、圩区、DEM、防洪工程等具有空间特征的数据信息;属性库管理是指管理那些不具有空间特征或对空间数据进行描述的数据信息,如社会经济统计资料、圩区社会经济统计数据、防洪工程技术档案、历史灾情资料,等等;模型库管理是管理那些对太湖流域进行灾情评估而构建的有关数据模型;多媒体数据管理是管理那些诸如图像、图形、声音、文字等多媒体数据。

4 数据库的建设与作用

数据库是洪涝灾害评估系统的基础,它在整个系统中起着至关重要的作用,很难想象一个好的模型没有可靠数据的支持在系统中能发挥什么样的作用。

4.1 基础地理背景

太湖流域共占 1:100000 地形图(一般为 80 年左右)35 幅,按六大要素分层数字化。80 年的地形图已比较陈旧,为了使基础地理信息反映现在真实情况,作者利用 1995 年 TM 遥感图像的解译成果。其中,居民地、城镇范围使用 TM 影像解译成果,水系、公路与 TM 影像解译成果进行对照,行政界线采用民政厅最新颁布的行政区划,包括省界、市界、县界和乡镇行政界线。

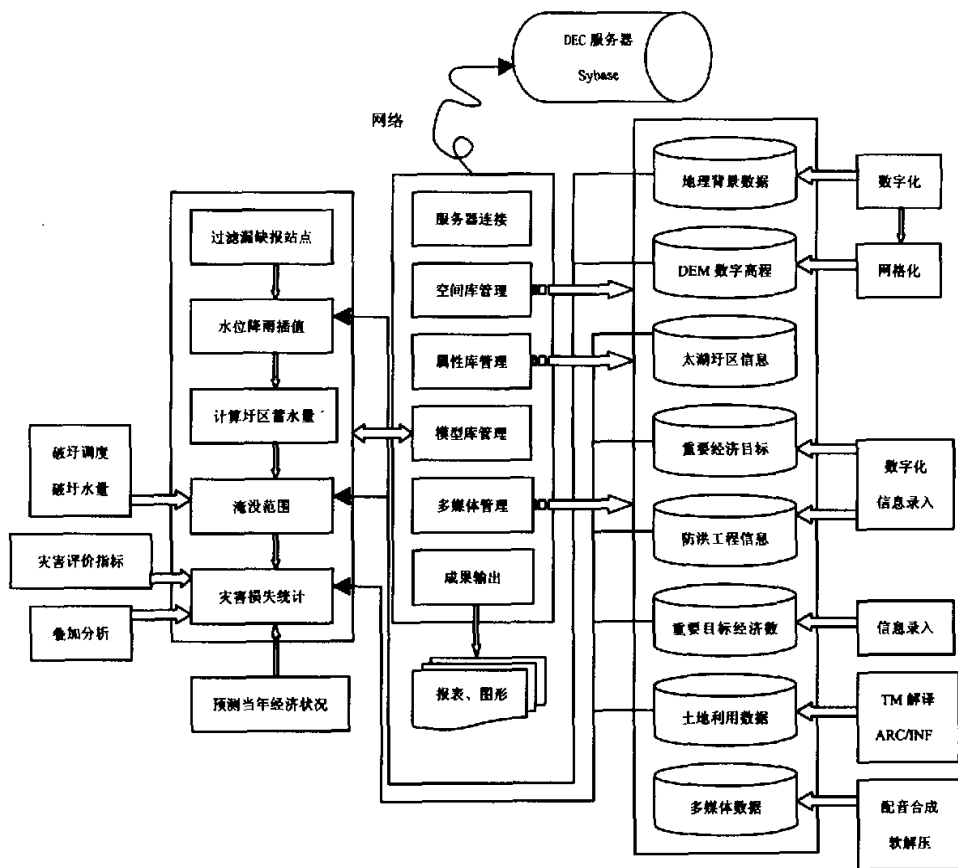


图1 系统技术框架

Fig.1 The technique frame of the GIS system

当太湖流域发生洪涝灾害时,有基础地理背景数据的支持,系统可以按照省、市、县、乡四级行政区划进行统计,及时向国家防总汇报各地灾情,为防洪抗灾提供科学依据。

4.2 数字高程模型 DEM

由于 1:100000 地形图的等高线为 2m、5m、10m……,对以平原为主的太湖流域而言,用 1:100000 地形图做 DEM,其精度难以满足系统的需求。为此,平原地区采用 1:10000 地形图,等高线高程分别为 1.5m、2m、2.5m、3m、3.5m、4m、4.5m、5m;因洪涝灾害一般发生在平原地区,而高程在 10m 以上的区域发生洪涝灾害的可能性极小,故等高线高程采用 10m、30m、100m、150m、200m、250m、300m、……。制作 DEM,除了数字化地图上的等高线以外,还包括地图上的所有离散高程点。

DEM是洪涝灾害评估系统中不可或缺的基础数据,是评判哪些地方未淹、被淹以及淹没深浅的最基本依据之一。

4.3 土地利用

土地利用制图的方法有多种,基本的有勘测调查和遥感图像分类两大类。大范围的土地利用使用勘测调查的方法费时费力,如农业区划办公室作的全国土地利用基本调查历时十年,但不能保证时相的统一,由于时间上的不一致,土地利用成图的真实性和可用性比较差;而用遥感图像分类方法,既保证了时相的统一,又能比较迅速地完成任务。

土地利用遥感图像解译亦即遥感图像分类,在遥感图像处理系统中比较经典的是采用监督分类和非监督分类对遥感图像进行分类。由于计算机图像处理具有速度快,重复计算,可根据样本提取物理量,使得人们更多地依赖计算机去处理海量数据。然而,计算机人工智能方面的研究尚有许多问题要解决,目前的计算机遥感图像分类方面,难以充分利用人的知识,提取空间相关信息,计算机遥感图像分类精度相对较低,计算机自动分类精度达到80%已是相当高。人工目视解译过程可充分利用遥感图像判读人员的知识,利用图像的影像特征(色调或色彩,即波谱特征)、空间特征(形状、大小、阴影、纹理、图型、位置和布局)和多种非遥感信息资料,提取出空间相关信息。因此,结合两者的优势,采用在遥感(Remote Sensing)与地理信息系统(Geographic Information System)一体化支持下的人机交互全数字作业方式,将更有利于遥感图像信息的提取,其分类精度可达95%以上。

土地利用人机交互全数字作业,首先根据规范和标准建立土地利用分类体系,在此基础上,建立土地利用分类遥感解译判读标志;尔后TM遥感图像经投影转换,与土地利用Coverage在同一坐标系下;使用ARC/INFO地理信息系统软件,TM遥感图像为土地利用分类解译背景,解译形成土地利用Coverage。

洪涝淹没的地区,不同的土地利用方式,灾害损失情况大相径庭。水田淹没,单位面积的损失比较小;而城镇淹没,尤其淹没了那些重要仓库、工厂等,其损失之大,可想而知。因此,土地利用数据在灾害评估系统评估经济损失时是非常重要的。

4.4 圩区

为抵御洪水的侵袭,太湖地区的政府十分重视防洪工程的建设,江堤、海塘、水闸、泵站以及低洼地区圩堤的修筑,在防洪除涝方面起到了很大作用。正是有了这些水利工程,洪涝淹没范围的计算仅仅依靠水位和DEM数据远不够,还需要圩区和江河湖堤的空间位置和堤高。

圩区数据主要从各水利部门结合野外调查获取,图件各式各样,关键是最后落实到统一的地图投影、统一的坐标系下。

4.5 统计资料

洪涝灾害淹没经济损失评估主要统计淹没范围内的总经济损失、受灾人口、受灾户数、淹没耕地、农业损失、工业损失、三产损失、居民财产损失、仓储损失等,这些淹没损失统计最主要依据国家统计局统一编制的市、县统计年鉴中以乡为单元的统计数据。

5 系统主要功能

5.1 空间数据库管理

空间数据包括太湖流域水系、工情分布、圩区分布、水文测站、道路交通、土地利用等,相应

地,在 MapX 中将它们分别组合成几类不同的地理数据集.并针对这些专题数据集提供相应的浏览、选择、查询、编辑等工具.

5.2 属性数据库管理

本系统涉及到的属性数据包括统计数据、工情数据、水库数据、河流数据、圩区数据、以及分省、分市、分县、分乡损失统计数据等.所有数据都以 Access 97 数据库形式存储(.mdb),在系统中,通过 MFC DAO 访问和操纵上述数据库,以及管理数据库中的各种对象或结构,并在此基础上与 MapX 控件之间建立关联,以满足本系统的设计要求.

5.3 洪涝灾害评估模型

5.3.1 经济预测 经济预测是对各乡灾害发生当年各项经济指标进行预测.预测方法采用平均增长率预测法(指数预测法),按前三年或前五年的平均经济增长率来预测:

$$P_{t+1} = P_0(1 + \alpha)^t$$

如用前五年经济预测,上式中 P_{t+1} 为前一年经济指标值; P_0 为前五年经济指标值; $t = 4$, 可得 α 值.用此 α 值, P_0 用前一年经济指标, $t = 1$, 可预测得当年各项经济指标.

5.3.2 淹没范围模拟

①水位降雨插值

检索测报站点的雨量、水位,时段为 1d,载入各乡中心点坐标数据文件(乡名,编号,X 坐标,Y 坐标)、测报站基本数据文件(站名,编号,X 坐标,Y 坐标)和 DEM 数据.

过滤缺报站点:以检索的测报站数据与测报站基本数据对比(可按站名或编号),因不会每次每站都会报汛,剔除未报汛的站点,分出只报了雨量或水位的站点,分别建立降雨信息数据(站名,编号,X 坐标,Y 坐标,雨量)和水位信息数据(站名,编号,X 坐标,Y 坐标,水位).在此采用算术平均法计算面平均雨量,并确定太湖最高水位.

过滤 10m 以上乡镇和水位站:以乡镇中心坐标和水位站坐标减去 DEM 原点坐标并分别除以各坐标栅格步长,得到所属栅格,如 DEM 同栅格高程大于 10m,则剔除此乡镇或水位站,重新建立乡镇数据文件和水位站数据文件.

插值:在分区的基础上采用距离加权平均法插出各乡中心点的水位数据和降雨数据.

②破圩判别及内涝水量计算

调用数据库中圩区、乡界进行叠置分析,得到流域内经叠置后的所有多边形数据文件.调用各圩区堤顶高程、排涝能力数据.由多边形数据文件转换得圩区与乡对应信息文件.

a. 对每一叠置后的多边形进行破圩判别,判别多边形内所属乡水位与所属圩区堤顶高程.如水位大于圩堤顶高程,注明该圩已破,且所有属该圩区的多边形均标注为破圩,破圩水位为判别破圩最高乡水位.

b. 非破圩区,根据圩区所属乡的降雨量,用算术平均法计算圩区平均降雨量,经产流计算、排涝计算,求出内涝水量.

据以上两类情形,建立圩区淹没检索文件(圩区编号,破圩否(破圩标志 1,未破圩 0),破圩要素(1 时为破圩水位,0 时为内涝水量)).

③淹没范围图

利用 DEM、圩区和乡界数据,根据圩区淹没文件,对各圩区进行处理.在处理时有以下二种情况:

- a. 破圩:该栅格所在圩区破圩,淹没水深为破圩水位减去高程,如出现负值,则为 0.
- b. 非破圩内涝:先根据该圩区各级高程的面积和内涝淹没水量,确定淹没水位(从低到高试算到某一高程,其蓄水体积与内涝水量之差最小).淹没水深为以该栅格所在圩区的淹没水位减去栅格高程,如出现负值,则为 0.

根据淹没水深栅格数据和乡栅格数据,统计各乡淹没水深小于 0.5m、0.5-1.0m、大于 1.0m 的面积.计算出全流域淹没面积.

5.3.3 调度淹没范围模拟 在降雨、水位插值及底图显示的基础上,以鼠标在调度破圩的圩区点击选择(双击为选择且确定),注意选择点落于所属乡,则该乡水位为破圩水位.在进行圩区淹没水量计算时,该圩区自调度破圩时间起,按破圩处理.

5.3.4 损失统计 根据各乡淹没水深数据和制定的灾害损失评价指标、中心点坐标(x,y)、乡政府所在地坐标,统计各乡灾害经济损失.

5.4 专题制图

专题制图功能是对用户数据进行可视化分析的强大工具.通过对抽象的数据赋予图形,用户获得了形象简洁的视觉感受,进而更易于挖掘出数据内部潜在的信息及相互关系.系统可制作分类图、等级符号图、点值图、点密度图、直方图和饼图.

5.5 打印输出

本系统针对打印内容的不同,分别提供了图形打印和文字报表打印两种方式.其中实现打印的关键是创建打印文档,为方便用户执行打印操作,系统提供了打印文档创建向导.

6 讨论

(1)运用遥感、地理信息系统技术,有流域空间数据库和降雨、水位站点信息的支持,可及时、客观地测报洪涝淹没范围;在社会经济统计、经济预测等数据库和模型的支撑下,能比较科学地评估洪涝灾情损失.

(2)系统能比较正确地估算洪涝淹没范围,但在经济损失方面,尤其是城镇受淹的损失,由于产业结构和其他详细的数据难以获取,经济损失的评估比较粗略.

(3)系统刚刚起步,尚需在洪水演进模型、基础数据库等方面进一步补充提高.

参 考 文 献

- 1 毛 锐.太湖大灾与治理太湖.湖泊科学,1992,4(1):1-8
- 2 虞孝感,吴泰来,姜加虎等.关于 1999 年太湖流域洪水灾情、成因及流域整治的若干认识和建议.湖泊科学,2000,12(1):1-5
- 3 毛 锐.建国以来太湖流域三次大洪水的比较及对今后治理洪涝的意见.湖泊科学,2000,12(1):12-18
- 4 吴泰来.太湖流域 1999 年特大洪水和防洪规划的思考.湖泊科学,2000,12(1):6-11

The System Based on GIS for Evaluating Losses of Flood Disaster in Taihu Lake Catchment

WU Haoyun¹ JIANG Nan² YU Gaoyu² YANG Aihui³

(1: Hohai University, Nanjing 210098; 2: Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008; 3: Taihu Basin Authority, Water Resources Ministry, Shanghai 200434)

Abstract

The system of evaluating losses of flood disaster is one of important components of flood-proof decision-making system in Taihu Lake catchment, and it can accurately forecast and evaluate the flood disaster in Taihu Lake catchment, at the same time provide scientific foundation to flood-proof. This paper, from GIS application & developmental point of view, introduces the technique systems of GIS software, the frame of technology, the characteristic and effect of spatial database, as well as main functions of the system.

Key Words Taihu Lake catchment, evaluation, system, function