

城市地震现场搜救指挥辅助决策系统的设计与开发^{*}

郭红梅¹, 黄 发¹, 陈维锋², 胡议员¹

(1. 西南交通大学 土木工程学院测量系, 成都 610031; 2 四川省地震局, 成都 610041)

摘要: 提出了一种基于 GIS 和空间决策技术的城市地震现场搜救指挥辅助决策系统的技术思路和解决方案, 在软件的总体设计、功能模块、数据库建设、模块集成等方面进行了研究和开发, 并以四川自贡市资料为例对系统功能进行了试验, 最后给出了试验结果。应用 GIS 技术构建城市地震现场搜救指挥辅助决策系统是提高地震现场搜救工作效率的有效途径。

关键词: 地理信息系统; 地震现场搜救; 辅助决策; 指挥决策

中图分类号: P315.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)01-0083-06

0 引言

地震现场搜救是指在地震灾害现场搜索并救出幸存者, 以及在需要时实施急救和基本医疗救助的过程(肖松雷, 2006)。效率是地震现场搜救工作的关键。城市地震现场搜救是一个非常复杂的过程, 搜救工作能否快速、有序地进行取决于现场指挥人员科学高效的搜救决策与指挥。面对复杂的现场搜救过程, 指挥人员必须处理、分析大量空间和非空间信息, 并在科学、客观的搜救知识的指导下才有可能做出正确的指挥决策(许建东等, 2005)。随着城市的快速发展, 城市地震现场搜救工作越来越复杂, 需要考虑的因素、分析的信息越来越多, 靠人工已很难进行快速、合理的指挥。

地理信息系统(GIS)是采集、存储、管理、分析、描述和应用地理信息的计算机系统。基于 GIS 的空间决策支持技术是一种专门用于综合分析和处理各种地理数据, 并进行相关的信息管理、决策支持的有力工具。它不仅可以高效地处理空间数据, 还可以把数据库、知识库、模型库和推理逻辑等关联起来, 特别适合于建立制定对策的智能决策系统(邬伦等, 2000)。近年来, GIS 以及空间决策技术被广泛地应用于防震减灾领域,

如震害预测(高杰等, 2006)、应急决策支持(杨昆等, 2006)等, 取得了较好的实效, 但是在地震现场搜救指挥决策中的应用研究几乎是一片空白。笔者基于 GIS 和空间决策技术, 设计和开发了城市地震现场搜救指挥辅助决策软件。

1 目标定位和总体设计

1.1 软件目标

基于 GIS 平台, 将震害预测、地震灾情快速评估技术研究、城市地震现场不同建筑物结构类型以及废墟类型搜救行动方案研究、现场搜救指挥部署的决策模型研究、地震现场搜救策略和方法研究、压埋人员情况研究等研究成果进行系统集成, 以叠加分析、网络分析等空间分析为基础, 结合相关专题数据模型, 利用空间决策技术建立基于 GIS 的城市地震现场搜救指挥辅助决策系统。具体目标是: ①为地震现场搜救指挥人员提供灾情以及救援队人员信息和装备信息的检索、查询; ②辅助指挥人员进行指挥部选址和路径设置; ③综合考虑建筑物结构类型、废墟类型、压埋人员情况、安全条件、搜救设备条件、医疗设备条件、人员条件等因素在搜救行动实施过程中所起的作用, 自动生成不同环境条件下的现场搜救行动方案建议; ④提供灾情以及救援队人员信息和装备

^{*} 收稿日期: 2007-07-30

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAC13B04)资助

信息的动态追踪和反馈; ⑤指挥人员可以根据反馈的灾情信息对搜救方案进行修改和优化; ⑥平时可以管理、维护和查询救援队的各种基础信息和资料。

1.2 软件总体设计

根据软件的目标定位, 将整个软件划分为六大功能模块及其子模块。六大模块可以分为四大部分: 基础功能、搜救准备、现场管理、历史信息。软件总体结构如图 1所示。

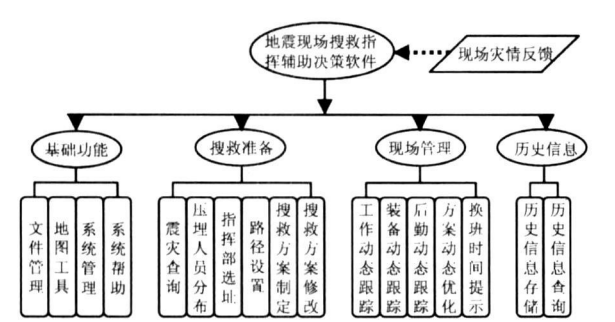


图 1 城市地震现场搜救指挥
辅助决策软件总体结构图

(1) 基础功能

提供管理、查询、维护等各类功能, 包括: ①文件管理。主要实现对文件的常规操作, 如地图文件和数据文件的打开、保存、另存为、添加等常规操作, 以及地图设置、图面设置、打印预览、打印地图等输出操作; ②地图工具。主要实现对地图的编辑操作, 如视图无级缩放、动态标注、视图书签、属性查询、空间位置选择、图形选择、属性选择、选择集切换、工具条控制、图层编辑等; ③系统管理。用于切换不同身份的用户, 按不同的权限实现对软件的维护功能; ④系统帮助。提供软件的使用帮助说明, 包括软件的启动条件和使用权说明。

(2) 搜救准备

该模块的作用是帮助现场指挥人员了解灾情并辅助其进行指挥决策, 为搜救工作做好准备。包括: ①震灾查询。包括建筑物震害查询、生命线震害查询、次生灾害源查询等等; ②压埋人员分布模拟。根据建筑物震害情况、发震时间和灾区人口条件, 快速模拟出压埋人员的分布情况; ③指挥部选址。结合灾区地震地质条件、建筑物震害、交通条件、压埋人员分布等情况, 快速选择出最佳指挥部地址, 并在图上标注出来; ④路

径设置。根据交通系统震害情况, 利用最佳路径分析得出救援队员出行路径; ⑤搜救方案制定。根据建筑物结构类型、废墟类型、压埋人员情况、安全条件、搜救设备条件、医疗设备条件、人员条件等因素在搜救行动实施过程中所起的作用, 系统自动给出比较科学的搜救方案建议; ⑥搜救方案修改。根据反馈的灾情信息, 指挥人员可以对搜救方案进行修改、优化。

(3) 现场管理

该模块的功能是动态跟踪现场灾情信息、工作信息、装备信息、后勤信息等, 把各种信息动态地标注出来。并且自动提示换班时间和后勤补给等。

(4) 历史信息

该模块提供有关本次救援事件和历史救援事件的各种信息的存储和查询。主要包括灾情、人员信息、装备信息、设备信息、保障信息、灾区地理信息、救援事件、行动、任务信息等。

2 数据库的设计和建设

城市地震现场搜救指挥辅助决策系统软件是以海量空间数据和属性数据为基础的, 因此数据库的建设非常重要。系统数据库从逻辑上分为基础数据库和成果数据库。基础数据库存储各个模块运行所需的原始或初步预处理后的空间数据和属性数据, 是整个软件建设与运行的基础。基础数据库中的空间数据库主要以图层的形式存储基础地理电子图, 包括: 大比例尺地形图、行政区划图、建筑物震害分布图、避震疏散场地分布图、生命线工程分布图、次生灾害源分布图等。属性数据则以数据表格形式存储地震地质背景资料、人口分布数据、震疏散场地数据、物资储备数据、救援队人员信息数据等。成果数据库将存储经过软件处理后的二次数据和模型计算得到的结果数据, 如压埋人员分布、现场指挥部选址结果、搜救指挥决策方案等。

本文中笔者采用 Oracle作为系统的数据库支持系统, 统一管理系统运行所涉及的所有空间数据和属性数据。空间数据访问技术采用 ArcSDE空间数据引擎实现。ArcSDE是美国 ESRI公司推出的空间数据库解决方案, 它在现有的关系或对象关系数据库管理系统的基础上进行了空间扩展, 可

以将空间数据和非空间数据库集成在绝大多数的商用 DBMS 中。需要注意的是数据不是存储在 ArcSDE 中,而是存储在 DBMS 中, ArcSDE 只是 ArcGIS 应用系统与 DBMS 之间的通道。它允许用户在多种数据库管理系统中管理地理信息,并使所有的 ArcGIS 应用程序能够使用这些数据。

3 搜救指挥辅助决策模型库

搜救指挥辅助决策模型库是软件具有实用性、高效性和智能性的根本保证。模型库的内容取决于软件的功能定位。

3.1 模型分类

搜救指挥辅助决策模型可以分为两大类: 灾害模型和决策模型。

灾害模型主要包括: 建筑物震害预测模型、生命线震害预测模型、次生灾害模型、地震灾情快速辨识模型、压埋人员分布模拟模型等。

决策模型主要包括: 搜救资源需求量模型、现场搜救指挥部署决策模型、不同建筑物结构类型以及废墟类型搜救行动方案模型等。

3.2 模型开发

本文模型库的实现是采用基于 COM 规范创建 ActiveX DLL 方法, 整个模型库就是一个动态链接库。各个模型的开发是把模型从代码中独立出来, 每个模型都生成自己的 DLL 文件, 利用面向对象设计的封装特性进行调用。这样模型库就是开放的, 可以非常方便地利用已有的成果。由于震害预测模型等已经相对成熟, 因此可以直接使用。软件开发时我们主要开发了压埋人员分布模拟模型、搜救资源需求量模型、现场搜救指挥部署的决策模型、不同建筑物结构类型以及废墟类型搜救行动方案模型。

压埋人员分布模拟是软件的核心之一, 在此就压埋人员分布模拟模型进行简要介绍。

城市地震人员伤亡绝大部分是由建(构)筑物倒塌引起的(马玉宏等, 2000^{a)}。本文定义地震压埋率为在发生地震时, 某建筑物或构筑物倒塌或严重破坏时造成的压埋人数与该建筑物内总人数的比值。压埋人员分布的影响因素如图 2 所示。从上可知, 压埋率乘以地震时建(构)筑物内的人数则为该建(构)筑物倒塌或严重破坏时造成的压埋人数。

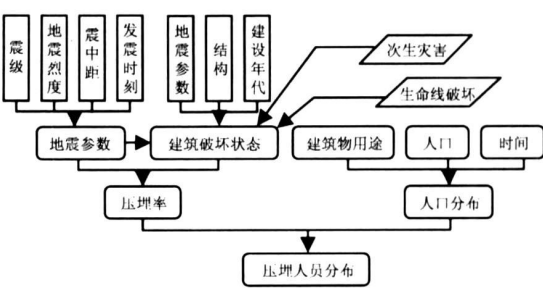


图 2 压埋人员分布影响因素

不同时刻、不同用途的建筑物内人数是变化的。根据建筑物昼夜使用情况的不同, 本文把建筑物分为四大类。第一类是昼夜连续使用的建筑物, 如三班制厂房、不中断运行的公用建筑、医院病房、全日制托儿所等; 第二类为正常工作制下使用的建筑物, 如厂房、学校、办公楼、幼儿园等; 第三类是居住型建筑物, 如住宅、宿舍、旅馆等; 第四类为非正常服务的建筑物, 如二班制厂房、饭店、酒楼、文化娱乐设施、商业服务建筑等。考虑冬季和夏季的不同以及节假日和工作日的不同, 分别对每类建筑物建立以时间为自变量的动态模型。例如, 第一类建筑物夏季工作日的人口分布模型为

$$N(t)=\begin{cases} 0.9\alpha\sin(\frac{t-7}{2})\cdot\pi+b & (7\leq t\leq 8); \\ 0.9\alpha+b & (8\leq t\leq 11); \\ 0.1\alpha\cos(\frac{t-11}{3})\cdot 2\pi+b+0.8a & (11\leq t\leq 14); \\ 0.9\alpha+b & (14\leq t\leq 17); \\ 0.9\alpha\sin(\frac{t-17}{4})\cdot\pi+\frac{\pi}{2}+b & (17\leq t\leq 19); \\ b & (19\leq t\leq 7) \end{cases} \quad (1)$$

式中, a 和 b 分别为流动人员数和常住人员总数(不变)。

基于马玉宏等(2000^{b)}总结的人员伤亡经验公式, 可以推出压埋率的公式如下。

白天发生地震时:

$$H=0.0098e^{5(1-I)}F \quad (2)$$

夜间发生地震时:

$$H=\frac{0.0126I+0.008}{I+0.25}e^{75(1-I)}F \quad (3)$$

以上两式中, H 为压埋率, I 为地震烈度, F 为破坏率。

根据以上所得到的地震压埋率和人员分布函数，两者相乘便可以得出震时建筑物内人员压埋的大致数量。再结合建筑物的分布，可以得出整个区域地震压埋人员的分布情况。

4 系统的实现

4.1 系统实现的技术方法

考虑到系统的兼容性、稳定性和响应速度等要求，在系统软件配置方面尽量考虑了技术成熟和通用的产品；在开发模式上，考虑到地震现场搜救指挥辅助决策系统的特点，采纳了较为稳定的系统构架形式，即 C/S体系结构，这种系统架构形式能保证现场搜救指挥决策的快捷与准确。具体的技术方法如表 1 所示。

表 1 系统实现的技术方法

技术形式	采用的技术方法	说明
开发模式	C/S	系统总体结构模式
开发方式	COM/DCOM	系统开发的技术实现方法
开发工具	VB6.0/VBA	系统开发和集成工具
开发平台	ESRI ArcObject 1	系统的 GIS 服务
运行平台	Windows Me/XP/2000 及其以上	系统运行所需平台
数据库平台	Oracle 10i + ArcSDE 1	空间数据库服务

4.2 模块集成

采用 ESRI ArcGIS 9.1 作为系统开发的整体建设平台，实现系统界面的统一规划与管理。采用 COM（即组件对象模型）技术将各个功能模块所特有的一些不同的计算方法和计算模型以动态连接库（.dll 文件）或可执行文件（.exe 文件）的形式从程序中独立出来，通过在程序上预留的接口，按照一定的标准访问这些外挂文件，从而增加了整个程序的灵活性。本文中城市地震现场搜救辅助决策软件各模块中用到的模型动态连接库文件（.dll 文件）或可执行文件（.exe 文件）首先在 VB 的代码中通过类的实例化调用，然后嵌入 ArcGIS 9.1 平台上进行模块的集成调试和错误处理。最后利用 ArcGIS 9.1 自带的界面定制功能设计完成软件界面和菜单项（ESRI 2004）。

4.3 系统实现的功能

笔者研发的城市地震现场搜救指挥辅助决策系统基本上实现了总体设计中所描述的全部功能。以四川自贡市区资料为试验数据，软件功能如下。

（1）基础功能

包括了文件管理、通用地图工具、系统管理和系统帮助。

（1）搜救准备

系统集成了震害预测等已有成果，可以查询建筑物震害情况、生命线震害情况、次生灾害源分布情况等。在此基础上，结合人口分布数据，系统可以给出压埋人员分布情况（图 3）。结合压埋人口分布情况、灾区地震地质条件、交通条件等，在指挥部选址模型的支持下系统可以给出最佳指挥部地址。根据交通系统震害情况，系统可以给出救援队员出行路径（图 4）。在震害情况和压埋人口分布一目了然的情况下，搜救工作点的划分和先后顺序也就可以确定。在指挥人员选定搜救工作点后，系统将自动显示工作点的详细灾害信息，然后自动给出搜救方案建议，包括搜索方法、人员调配、物资调配等（图 5）。系统生成的方案不太符合实际情况时，指挥人员可以对搜救方案进行修改。



图 3 压埋人员分布
（颜色越深表示压埋人数可能越多）



图 4 路径设置



图 5 搜救行动方案建议

(3) 现场管理

系统可以动态跟踪显示现场灾情信息、工作信息、装备信息、后勤信息等，并且以文本提示框和声音的形式提示人员换班和后勤补给等。现场管理界面如图 6 所示。

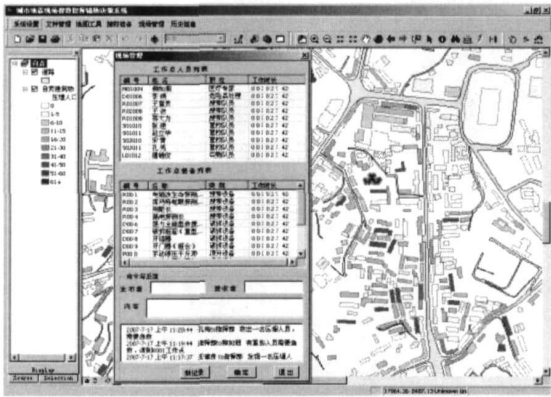


图 6 现场管理

(4) 历史信息

系统可提供本次救援事件和历史救援事件的各种信息的存储、查询、数据统计、资料输出等。主要包括对灾情、人员信息、装备信息、设备信

息、保障信息、灾区地理信息、救援事件、行动、任务信息等的查询和数据统计以及资料输出。

5 结语

城市地震现场搜救指挥涉及大量的空间、非空间信息，GIS 提供了管理、处理和分析这些数据的优秀工具。建立基于 GIS 的城市地震现场搜救指挥辅助决策系统，可以帮助指挥人员进行快速、科学的搜救指挥，从而大大提高现场搜救的效率，最大限度地减少人员伤亡。同时我们也应该看到这方面的研究还存在许多问题，比如系统所需基础资料缺乏，系统专业模型不完善等，这些都是制约系统发挥效用的瓶颈。但毋庸置疑，GIS 应用于现场搜救指挥是必然趋势，必将在今后的防震减灾工作中发挥重要作用。

参考文献：

顾建华, 陈维锋, 郝清源. 2003. 地震灾害现场救援搜索策略与搜索方法有关问题的讨论 [J]. 国际地震动态, (6): 6—12
马玉宏, 谢礼立. 2000^a. 关于地震人员伤亡因素的探讨 [J]. 自然灾害学报, 9 (3): 84—90.
马玉宏, 谢礼立. 2000^b. 地震人员伤亡估算方法研究 [J]. 地震工程与工程振动, 20 (4): 140—147.
邬伦, 刘瑜, 张晶, 等. 2000. 地理信息系统——原理、方法和应用 [M]. 北京: 科学出版社.
许建东, 黄建发. 2005. 地震紧急救援数据库与指挥决策系统现状综述 [J]. 国际地震动态, (3): 8—12
杨昆, 李永强, 许泉立, 等. 2006. 基于 ArcGIS 的地震灾害应急决策支持系统的设计与实现 [J]. 地震研究, 29 (2): 203—208.
姚清林, 高建国. 2005. 制约地震紧急救援效果的关键因素与改进途径 [J]. 灾害学, 20 (3): 48—52
ESRI. 2004. ArcGIS Desktop Developer Guide [M]. New York: ESRI Press

Urban Earthquake on-site Searching and Rescuing Command
Auxiliary Decision System based on GIS

GUO Hongmei, HUANG Ding-fa, CHEN Wei-feng, HU Yi-yuan

(1. Surveying Department of Civil Engineering College, Southwest Jiaotong University, Chengdou 610031, china)

(2. Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdou 610041, China)

Abstract

APPLY GIS to establish urban earthquake on-site searching and rescuing command auxiliary decision system is an effective way to enhance efficiency of earthquake on-site searching and rescuing work. In this paper, the earthquake urban earthquake on-site searching and rescuing command auxiliary decision software was designed and developed based on GIS technology. The overall design, module of function, database and module integration were researched and developed. Finally, the testing results were offered.

Key words: GIS; auxiliary decision making; earthquake on-site searching and succoring; command decision