

地震现场搜救力量部署辅助决策系统研究*

雷秋霞¹, 陈维锋², 黄丁发¹, 郭红梅², 魏昌盛¹

(1. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 四川 成都 610031; 2. 四川省地震局, 四川 成都 610041)

摘要: 综合考虑灾区人口、建筑物结构类型、破坏程度、压埋人员情况、救援队能力等因素, 运用相关模型和知识, 结合专家评分, 得出地震救援优先级, 在此基础上研究地震救援力量部署。系统运用地理信息系统 (GIS)、全球定位系统 (GPS) 技术和智能空间决策技术, 结合震害预测、地震灾情快速获取技术等, 为救援队指挥调配救援力量提供辅助决策, 提高指挥决策的科学性和有效性。

关键词: GIS; 辅助决策; 地震现场; 力量部署; 地震救援优先级

中图分类号: P315.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-0666(2011)03-0384-05

0 引言

地震应急指挥指当发生破坏性地震时, 各级政府根据震情和灾区的实际情况, 迅速调度一切可以救灾的资源 (队伍、物资) 开展针对性救援工作的决策过程。目前, 地震应急工作还只是政府行为, 普通民众对其知之甚少 (苗崇刚, 聂高众, 2004)。地震应急救援的重点是对压埋人员的搜救工作, 因为大部分伤亡人员是由房屋倒塌引起的, 所以在展开救援分析的时候, 主要以压埋人员作为研究对象。搜索与救援是震后应急救助工作的重点, 也是减少人员伤亡的关键 (陈维锋等, 2008)。然而当重大地震灾害发生后, 救援力量无法第一时间都赶到灾区, 此时, 地震救援指挥就很难对现有救援力量进行比较合理的指挥调配。肖松雷 (2006) 以数字化的形式对地震救援部署模型做了初步研究, 这对今后的地震救援具有重要意义。此外, 我国许多学者都已经研发了一些应急系统, 比如: 林火扑救救援辅助系统、地震搜救辅助系统等 (郭红梅等, 2008)。邓砚等 (2005) 讨论了地震应急的影响因素, 主要有自然、社会经济、应急信息三大方面, 每个方面都由若干子因素组成。以往的地震救援, 仅仅考虑到压埋人员的情况, 没有考虑到其它情况, 如地震救援难度等, 使得救援效果不

佳。丰彪等 (2010) 提出需要结合人口的分布情况进一步推断每个重点搜索区域中的待救援人员的数量, 结合桥梁、道路的破坏情况, 为搜索队伍设计最佳的搜索路线等。白仙富等 (2010) 对地震应急现场信息分类做了研究。基于以往的研究, 笔者对地震应急救援影响因素进行定量分析, 运用相关模型和知识, 结合专家评分, 得出地震救援优先级, 在此基础上研究地震救援力量部署。

1 系统设计

实现地震救援数字化, 以提高地震救援科学性为最终目的, 地震现场搜救力量部署辅助决策系统可以为现场指挥人员提供地震灾情、救援队及队员信息和装备信息的检索和查询, 当救援人员开始实施搜救以后, 系统对地震现场反馈信息进行监控, 根据监控信息, 结合相应的模型, 得出救援力量部署、行进路线、现场救援优化, 并自动给出不同环境条件下的现场搜救行动方案等。同时, 该系统还可以根据实时灾情及救援信息实现快速制图, 以实时地为决策者进行指挥与控制决策提供有效的依据。系统框架如图1所示。

1.1 基本信息模块

基本信息模块包括地震基本信息、灾害等级与应急级别、灾情信息、救援信息四大子模块。

* 收稿日期: 2010-12-24.

基金项目: 地震行业科研专项经费项目“地震现场搜救行动跟踪与监控技术 (200808063)”资助

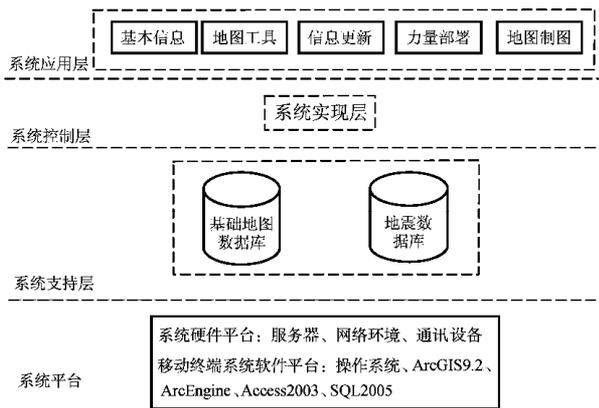


图1 系统框架图

Fig. 1 Diagram of system frame

该模块主要实现地震相关信息录入、上报、查询,并给出地震灾害等级与应急级别等功能。

1.2 地图工具模块

地图工具模块包括: 图层添加、属性查询及视图三个子模块。

1.3 信息更新模块

该模块包括启动数据接收、导入数据、刷新地图三个子模块。启动数据接收是实现地震现场移动终端所采集数据的远程接收,并将数据存储在服务端的SQL数据库中。导入数据主要针对的是专题符号库中具有符号编码类的信息,实现灾情数据的符号化显示。刷新地图是当再次有新信息的时候,可以直接刷新,以便于快捷地查看地图更新信息。

1.4 力量部署模块

力量部署模块主要包括3个子模块: 区域部署、现场部署和最佳路径。该模块结合救援队的力量信息和灾区得出的救援优先级,完成对先遣分队的派遣及救援队的力量部署,并指出救援队当前位置与所需救援场地的最佳行进路线。

1.4.1 区域部署

区域部署主要以居民点集中区为单位,是相对比较大的区域,如: 一个乡镇、一个区县都可以进行区域部署。

(1) 救援优先级排序: 主要显示“区域救援级别表”中的信息,并以分数大小为依据,由高到低排列。分数越高,优先救援的级别就越高,同时在图形上以不同的颜色区分救援等级。

(2) 救援力量需求分析: 确定各区域所需的最少专业救援力量。

(3) 救援力量部署: 结合优先级评分,以得分最高的区域优先部署救援力量,并以图示方式展现出来。

1.4.2 现场部署

现场部署是一个比较小的范围,比如以一个居民小区为基本单位。本文中,“搜救”广义地理解为搜索和营救的统称。由于现场部署的研究范围较小,所以我们将整个地震救援行动过程细分为搜索行动和营救行动,在部署模型方面,将从这两个方面分别展开研究。

(1) 搜救优先级排序: 针对某一个特定的灾害现场,在没有进行搜救行动之前,以分数为依据从高到低对建筑物进行搜救优先级排序。分数越高,优先救援的级别就越高,同时在图形上以不同的颜色区分救援等级。搜救优先级的评判模型与搜索力量优先级评判模型类似。

(2) 搜索力量部署: 对建筑物搜救优先级排序后进行搜索行动。搜索行动是指寻找幸存者并判断其位置,为营救行动提供依据。该部分主要实现区域内建筑物的搜索优先级别和搜索力量部署两个方面。功能展示: 首先给出搜索优先级别信息表,并在地图上以不同的颜色区分现场建筑物搜索等级。结合优先级分数,按最高分的区域优先部署搜索力量的原则,以图示的方式给出搜索力量部署结果。同时,根据救援队的工作时间,身体状态和心理状态(状态不佳或工作时间超过6个小时),以消息对话框的形式给出某队及某队员需要换班的提示。

(3) 营救力量部署: 在确定了幸存者位置之后,应立即前往该位置并展开营救行动。营救行动是指运用起重、支撑、破拆等方法把压埋人员解救出来。现场力量部署,主要实现区域内建筑物的营救优先级别和营救力量部署两个方面。功能展示: 首先给出营救优先级别信息表,并在图形上以不同的颜色区分现场救援点救援等级。结合优先级评分,按分数最高的区域优先部署救援力量的原则,以图示的方式给出救援力量部署结果。同时,根据救援队的工作时间,身体状态和心理状态(状态不佳或工作时间超过6个小时),以消息对话框的形式给出某队及某队员需要换班提示。

(4) 营救方案优化: 虽然根据现场灾情或预

估信息给出了救援力量部署，但如果实际受灾程度与预测的受灾程度差距很大，救援队就需要现场反馈信息给指挥部，进而由指挥部给出救援优化方案。

1.4.3 最佳路径

根据用户需求，给出两特定点之间的最佳路径。这里指的是时间最优。在此，需要考虑将交通道路破坏点看成是障碍点。

1.5 地图制图模块

该模块主要是实现地震专题符号库（刘雪梅，2010）及地震快速制图系统（曹利民，2010）的集成。包括符号库管理、快速制图系统和自定义制图三大子模块。

符号库管理模块：实现地震专题符号库的管理，目前符号库中包括具有“符号编码”的地震专题信息的符号，对于没有具体的“符号编码”的专题信息，用户可以新建、修改符号或删除特定的符号。

快速制图系统：实现地震专题符号在地图上的显示，制作出来的专题图基本上属于个别值专题图。

自定义制图：根据用户的需要，可以改变地图的版式等信息。

2 救援优先级相关分析

地震救援是在救援优先级评分排序的基础上，再对救援队进行合理的部署。对地震应急救援影响因素进行分析研究，设定出关键的影响因素。通过采取专家评分的方式，得出各因子的权重。地震应急救援影响因素主要由压埋人员与救援难度两大类构成。

对救援优先级的影响因素采用归一化处理，并进行数字量化得出分值，即各个因素的最高分值为 100，再根据加权平均得出各个区域或现场的救援优先级分数。

$$W = \sum A_i P_i \tag{1}$$

式中， W 表示评价总分； A_i 表示第 i 项指标的实际分值； P_i 表示第 i 项指标的权重。

2.1 区域救援优先级分析

区域救援优先级分析分为有压埋人员预估与

没有压埋人员预估两种情况。区域救援优先级评判由 (2) 式评判

$$\begin{cases} W_1 = A \times P_1 + (100 - B) \times P_2 \\ A = C \times P_3 + D \times P_4 \\ A \text{ 有确定值时，不用 } C、D \text{ 式} \\ A \text{ 没有确定时，就由 } C、D \text{ 式确定} \\ B \text{ 为 } B_{ij} \text{ 其中之一} \\ D \text{ 为 } D_1、D_2 \text{ 其中之一。} \end{cases} \tag{2}$$

式中， W_1 表示综合得分； A 表示压埋人口评分； B 表示救援难度评分，其中， B_{11} 、 B_{12} 、 B_{13} 、 B_{21} 、 B_{22} 、 B_{31} 、 B_{32} 、 B_{33} 分别表示（救援难度地形（丘陵、平原、高原山地）、天气（阴晴、雷雨）、交通（阻断、半通、畅通））； C 表示区域人口； D 表示破坏程度：（ D_1 为严重破坏， D_2 为倒塌）； P_1 、 P_2 分别是压埋人员与救援难度的权重，和为 1； P_3 、 P_4 分别是区域人口与破坏程度的权重，和为 1。以上的具体因子评分值及权重由专家评判确定。

2.2 现场救援优先级分析

由于现场救援的行动范围较小，可将救援行动分为搜索和营救两个部分，即从搜索优先级和营救优先级两个方面进行分析。

2.2.1 搜索优先级分析

若有直接预估的压埋人数时，按归一化处理，将本建筑物的压埋人员值除以区域中所建筑物该属性值的最大值，就得出该建筑物的压埋人员的系数值。在没有压埋人员预估的情况下，根据在室人口与建筑物破坏程度得出预估压埋人员的系数值。搜索优先级由 (3) 评判

$$\begin{cases} W_2 = E \times Q_1 + (100 - F) \times Q_2 \\ E = G \times Q_3 + H \times Q_4 \\ E \text{ 有确定值时，不用 } G、H \text{ 式} \\ E \text{ 没有确定时，就由 } G、H \text{ 式确定} \\ H \text{ 为 } H_1、H_2 \text{ 其中之一。} \end{cases} \tag{3}$$

式中， W_2 表示搜索优先级分值； E 表示压埋人数评分； F 表示搜索面积（现场内所需搜索的建筑面积），搜索面积越大，评分也就越高； G 表示在室人口； H 表示破坏程度：（ H_1 为严重破坏、 H_2 为倒塌）； Q_1 、 Q_2 分别是压埋人员与搜索面积的权

重,和为1; Q_3 、 Q_4 分别是在室人口与破坏程度的权重,和为1。以上的具体因子评分值及权重由专家评分确定。

2.2.2 营救优先级分析

假设初始的优先级设定为初始建筑物搜索优先级,下一步的救援优先级别则需要根据在建筑物中搜索出来的实际的幸存人数、倒塌类型、结构类型作为参考更新优先等级排序。未搜索的目标的存活人数按照现场反馈的压埋人数处理。营救优先级评判由(4)评判

$$\begin{cases} W_3 = M \times V_1 + (100 - N) \times V_2 \\ N = N_1 \times V_3 + N_2 \times V_4 \\ V_3 \text{ 为 } V_{31}、V_{32}、V_{33} \text{ 其中之一} \\ V_4 \text{ 为 } V_{41}、\dots、V_{44} \text{ 其中之一} \end{cases} \quad (4)$$

式中, W_3 表示救援优先级分值; M 表示幸存者人数评分(归一化处理); N 表示难度评分(N_1 、 N_2 分别为建筑物结构及倒塌方式评分); V_1 、 V_2 分别是幸存者人数与救援难度的权重,和为1; V_3 、 V_4 分别是房屋结构与倒塌方式的权重,和为1; V_{31} 、 V_{32} 、 V_{33} 分别表示砌体砖混、钢混、钢结构; V_{41} 、 \dots 、 V_{44} 分别表示倾斜式、V型、悬臂式、夹层式。以上的具体因子评分值及权重由专家评分确定。

3 系统数据库设计

系统数据涉及到基础地图数据、地震现场灾情数据、地震救援模型成果数据三大部分。基础地图数据主要以.shp格式存储,而其他数据主要由SQL2005数据库管理存储,SQL2005数据库中设计了22个数据表,大部分数据是通过专门研发的移动终端设备在地震现场采集得到的实时数据,成果数据是根据相关评判模型由数据库中的T-SQL语言创建存储得出,也可以通过普通的编程方式来实现。

基础地图数据主要包括:行政区划、居民点、交通(路、桥、水)、建筑物、地质情况等。其中建筑物属性信息包含“用途”,初次用于显示救援优先级别。

地震灾情数据主要包括:区域破坏状态信息表、现场灾情信息表、建筑物破坏信息表、生灾

害信息表、基础设施破坏信息表、交通及其附属设施破坏状况信息表等。

地震救援相关数据主要包括:救灾物资信息表、救援队基本信息表、域救援优先级信息表、建筑物搜索优先级信息表、建筑物搜索结果等。

4 结语

笔者用定量的方式确定地震救援优先级,从而更加科学地进行救援力量部署,对地震现场救援具有实际意义。系统应用了GIS、GPS等技术,充分体现了GIS的空间决策功能和网络分析功能。通过对地震应急救援影响因素的定量分析,得出救援优先级的评判方法。本系统的研究充分体现了地震救援数字化,可以提高地震应急救援的效率和科学性,同时,对今后的应急救援工作具有一定的借鉴意义。需要注意的是,在软件的实现方面,需尽量满足系统的易操作性和可扩展性。此外,银正彤等(2009)对GoogleEarth在防灾减灾决策中的应用研究,可与本救援辅助系统结合发展,从而使广大群众都能够参与并实时了解救援情况。

参考文献:

- 白仙富,李永强,陈建华,等.2010.地震应急现场信息分类初步研究[J].地震研究,33(1):111-119.
- 曹利民.2010.地震应急救援专题图符号库系统设计与实现[D].成都:西南交通大学.
- 陈维锋,王云基,顾建华,等.2008.地震灾害搜索救援理论与方法[M].北京:地震出版社.
- 邓砚,聂高众,苏桂武.2005.地震应急的影响因素分析[J].灾害学,20(2):27-33.
- 丰彪,文里梁,王自法,等.2010.基于三维GIS技术的地震灾情场景模拟系统[J].世界地震工程,26(1):114-120.
- 郭红梅,黄丁发,陈维锋,等.2008.城市地震现场搜救指挥辅助决策系统的设计与开发[J].地震研究,31(1):83-88.
- 刘雪梅.2010.基于ArcGIS Engine的地震救援专题图快速制图系统设计与实现[D].成都:西南交通大学测量系.
- 苗崇刚,聂高众.2004.地震应急指挥模式探讨[J].自然灾害学报,13(5):48-54.
- 肖松雷.2006.救援力量现场搜救行动指挥与部署模型的初步研究[D].北京:中国地震局地球物理研究所.
- 银正彤,郑文峰,杨朝晖,等.2009. GoogleEarth在防灾减灾决策中的应用[J].地震研究,32(1):99-103.

Decision-making Support System for Deployment of the Earthquake On-site Searching and Rescue Force

LEI Qiu-xia¹, CHEN Wei-feng², HUANG Ding-fa¹, GUO Hong-mei², WEI Chang-sheng¹

(1. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China)

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

Abstract

Applying the factors such as the population in the disaster area, the type of buildings, the degree of damage, the condition of buried people, the rescue team's ability etc. to some mathematical models, and referring to the expert's judgment and some relative knowledge, we get the earthquake-rescue priority by the Decision-making Support System for Deployment of the Earthquake On-site Searching and Rescue Force. On this basis, we study the deployment of the earthquake-rescue force. Supported by the information of the earthquake disaster prediction, GIS, GPS, intelligent spatial decision technology, and the technology of quick acquirement of the earthquake-disaster information, the system can provide an aid for the deployment of the rescue force, and improve scientificity and effectiveness of the rescue decision-making.

Key words: GIS; decision; aid; earthquake on site; force deployment; priority of earthquake rescue



王晓山 河北省地震局工程师。2007年毕业于中国地质大学固体地球物理学专业，获得硕士学位。主要从事地震活动性和震源机制及应力场的反演工作。



陈双贵 甘肃省地震局兰州观象台工程师，1997年毕业于防灾技术高等专科学校；2004年毕业于兰州大学。主要从事地震台站一线的地震监测预报工作。近几年主要从事地形变波的一些收集，研究工作。



王华林 山东省地震局研究员。1982年毕业于山东科技大学区域地质调查与矿产普查专业，获工学学士学位；1984年在中国地震局兰州地震所地震地质专业，获理学硕士学位。主要从事活断层探查、地震区划、工程地震和断层危害性评价的理论与应用研究工作。山东省地震局学术委员会委员，山东省地震安全性评价委员会委员，山东省地震学会和山东省地质学会常务理事，中国地震学会和中国地球物理学会会员。



杨玲英 云南省地震局工程师。1991年毕业于北京防灾学院。主持完成科研课题四项，主要参与完成科研课题五项，曾参与云南省“九五”、“十五”数字化地震前兆台网的建设。主要从事前兆台网数据处理、资料应用研究及前兆观测质量管理工作。



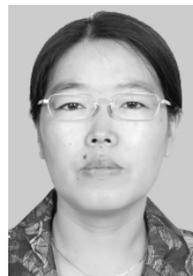
苏筠 北京师范大学副教授。主要从事自然灾害风险、资源生态研究。



李世成 云南省地震局高级工程师。1982年毕业于长春地质学院地震地质专业，获理学学位。主要从事地震地质与地质灾害研究、强震台网建设与观测工作。中国地震学会会员、中国地球物理学会会员。



雷秋霞 西南交通大学地图制图学与地理信息工程专业在读硕士研究生。2009年毕业于重庆交通大学资源环境与城乡规划管理专业，获理学学士。主要从事GIS应用及地震应急救援技术研究等。



张瑞红 华北科技学院讲师。1999年毕业于天津大学结构工程专业，获硕士学位；2011年毕业于北京科技大学岩土工程专业，获博士学位。现从事岩土工程专业科研工作。

注：李永莉、李树华、冉华、崔庆谷、段虎荣和徐硕的简介分别刊登在本刊 Vol. 29, No. 3; Vol. 29, No. 3; Vol. 29, supp.; Vol. 31, No. 4; Vol. 32, NO. 3; Vol. 29, supp.。