

基于 GIS 的城市震害单元化应急 医疗救助辅助系统*

杨富平, 武志涛, 袁正午, 丰江帆, 李 林

(重庆邮电大学 计算机学院中韩合作重庆 GIS 研究中心, 重庆 400065)

摘要: 在城市震害应急管理单元的基础上, 提出了城市震害单元化应急医疗资源需求模型, 并给出了该模型的 GIS 集成方案, 进而整合现有震害应急救助相关理论和方法, 结合面向对象与数据库技术, 采用组件式集成二次开发方式, 详细阐述了建立城市震害单元化应急医疗救助辅助系统的系统设计目标、技术路线、体系结构及功能构建等, 形成了基于 GIS 的城市震害单元化应急医疗救助辅助系统的技术思路和解决方案, 并以重庆邮电大学为应急管理单元, 建立了初步试验系统。

关键词: 应急管理; 应急医疗; 辅助决策系统; GIS; 需求模型

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2010)02-0227-07

0 引言

近年来, 频繁发生的破坏性地震灾难给人类带来了巨大的人员伤亡和财产损失。仅 2008 年 5 月 12 日在我国四川汶川发生的特大地震就造成 69 227 人遇难、17 923 人失踪, 需要紧急转移安置受灾群众 1 510 万人, 直接经济损失 8 451 亿多元(新华网, 2008)。城市是生产、消费和社会财富最集中的场所, 中国的国民生产总值的 60% ~ 80% 都是由城市经济所创造的(陈秉钊, 2003)。城市一旦发生地震, 造成的人员伤亡和经济损失是不可估量的。加之其发生突然、涉及面广, 致使现场出现大批伤员。伴随着次生灾害的发生、卫生环境和条件的恶化, 使城市震害应急医疗救助面临严峻的考验。这也使得城市震害应急医疗救助研究, 如救援体系(凌小凤, 韦波, 2006)、伤员救助过程(Carl *et al.*, 1996; Jeffrey *et al.*, 2008)、医院能力评估(Hiroshi *et al.*, 1998)等不仅涉及区域广、数据量大, 而且各要素之间在空间和数据上都存在着动态关联关系, 从而增加了相关领域研究的难度。

随着地理信息系统(GIS)技术的飞速发展,

人们将有可能利用 GIS 快速综合处理各种空间数据的优势, 实现对相关信息的高效动态管理, 这可为灾害应急医疗救助的研究和实践提供重要帮助。同时, GIS 技术在现场搜救(郭红梅等, 2008)、震灾快速评估(谢庆生等, 2007)和应急消防救援(赵思健等, 2006)等领域都有广泛应用, 也为其在应急医疗救助领域的应用起到了示范作用。但目前基于 GIS 的应急医疗救助辅助系统的研究还比较少。

城市震害应急救助实践表明, 灾难性地震发生后 6 小时是危重伤员应急救助的黄金时间(方世萍, 张芝霞, 2004; 中国赴日地震考察团, 1995)。基于此, Yang 和 Huang (2006) 提出了“城市震害应急管理单元”的概念。同时, 在地震应急医疗救助实践中, 应急决策人员需要根据地震震级与损失程度, 在评估现有应急医疗资源量的基础上, 了解应急医疗需求类别, 从而合理分配已有的和外界救援的资源等。因此, 根据震害预测(或震害快速评估)提前(或迅速)确定应急管理单元内的救助资源需求, 是科学、快速进行应急响应的重要途径。

本文立足救人这一最为重要的任务, 基于城市震害应急管理单元模式, 提出了伤员集中分类站系

* 收稿日期: 2009-06-12.

基金项目: 国家自然科学基金“城市震害单元化应急管理机制与动态可视化救助仿真研究”(40801214)和重庆邮电大学博士启动基金“城市震害单元化应急管理与救助仿真研究”(A2008-01)联合资助。

数和覆盖区域的概念,并在对每一个应急管理基本单元进行应急灾情预估和现有应急医疗资源调查分析基础上,建立城市震害单元化应急医疗资源需求模型,然后基于 GIS 空间决策技术,将本文提出的应急医疗资源需求模型和已有震害预测模型(杨昆等,2006)、伤员的运输转移模型(Jomon, Santhosh, 2006)、震后道路连通性模型(王志涛等,2008)等进行了集成,设计和开发了基于 GIS 的城市震害单元化的应急医疗救助辅助系统。

1 城市震害单元化应急医疗资源需求模型

1.1 城市震害应急管理单元和应急救助单元

城市震害应急管理单元(Yang, Huang, 2006)是指为减轻地震灾害造成的损失和影响,对一定范围内的社会要素,按照其地域特征进行划分的独立单元。城市震害应急救助基本单元是指为高效地开展震后现场应急救助,在城市震害应急管理基本单元内,以伤员集中运输分类站和搜救任务区基地为中心,并以该分类站和基地的服务范围为边界的现场应急救助区。

1.2 城市震害单元化应急医疗资源需求模型

科学的地震应急医疗救助需要快速判断应急管理单元内的各种救援资源的需求类别和需求数量。结合震后应急医疗救助的过程,应急医疗救助的资源需求类别主要分为:

- (1) 应急医疗队:医生、护士等;
- (2) 应急医疗设备:手术台、麻醉机、呼吸机、病房、病床、担架等;
- (3) 应急医疗常用物资:药品、纱布、绷带和手术刀等;
- (4) 其他:志愿者等。

根据伤员的分类(Jan de Boer et al, 1989),震后伤员的救助过程如图1所示。图中 I, I, III, IV 分别表示伤员受伤程度:立即死亡和在去往医院的途中死亡(IV);有生命危险,需立即治疗(III);无生命危险,需住院治疗(II);受伤,不需要住院治疗(I)。

本文主要从以下几个资源载体分析应急医疗救助中某种应急医疗资源的需求量:

- (1) 本地医院或临时医疗中心;
- (2) 伤员集中分类站;
- (3) 灾区诊所;
- (4) 其他。

根据上述分析,建立城市震害单元化应急医疗资源需求模型:

$$Q = \sum_{i=1}^4 q_i - (1-d)C. \quad (1)$$

其中: Q 为某种应急医疗救助资源的实际最小需求量; q_i 为第 i 个资源载体对某种应急医疗资源的理论需求量,例如, q_1 为本地医院或临时医疗中心对某种应急医疗资源的理论需求量; d 为震后某种应急医疗资源的损失率; C 为震前应急管理单元内某种应急医疗资源的实际总量; $(1-d)C$ 为震后应急管理单元内某种应急医疗资源的实际总量。

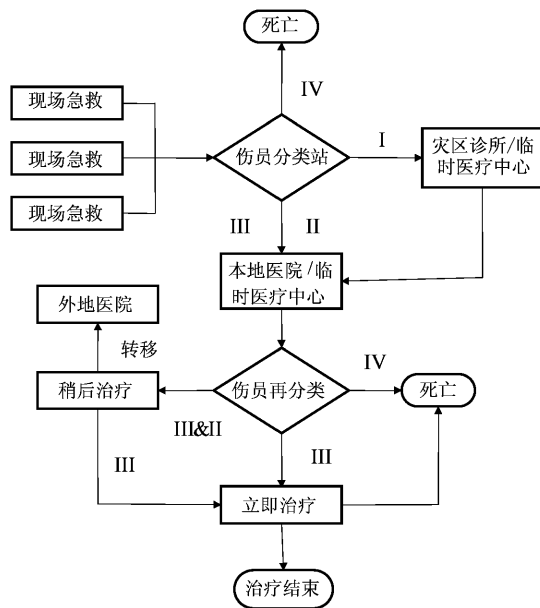


图1 伤员救助过程

Fig. 1 Process of the casualty assistance

下面我们将分别讨论 q_1 , q_2 , q_3 和 q_4 :

(1) 本地医院或临时医疗中心:在医院或临时医疗中心的能力范围之内治疗各类病人,以危重病人(III)和住院病人(II)为救治重点。所以,本地医院或临时医疗中心对某种应急医疗资源的需求量为

$$q_1 = \lambda_1 Sh_1. \quad (2)$$

其中： S 为受伤人数总数； h_1 表示重伤率和中伤率之和； λ_1 为比例系数，其表示如下：

$$\lambda_1 = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3n} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & \cdots & a_{4n} \end{pmatrix} \quad (3)$$

其中： a_{ij} 表示第 i 个需求类别中第 j 个需求量的比例系数。例如， a_{11} 表示应急医疗队中对医生需求量的比例系数。 a_{ij} 的确定与地震发生的地区，气候以及应急管理单元内的医疗水平等因素有关^①。如果没有特殊说明，在下文中 λ_i ($i=1, 2, 3$) 和 S 的意义同上。

(2) 伤员集中分类站：主要以通过专业培训的医生护士和部分志愿者为主，其主要任务是稳定伤员伤情、急救、伤员分类和确定运输先后顺序。通过图 1 可以看出，伤员集中分类站在整个医疗救助过程中起到承接的作用，对该区域某种应急医疗资源需求量的分析有着十分重要的意义。因此，我们提出伤员集中分类站系数和覆盖区域的概念。伤员集中分类站系数是指在遭受到同等强度的地震破坏时，所表现出来的应急救助强度大小，这个参数的大小直接取决于该应急管理单元内的社会经济属性特征，如人口密度和建筑物密度等，而与地震本身的强度大小无关。伤员集中分类站覆盖区域是以伤员分类站为中心的不规则的多边形区域，为了简单起见，在本模型中，伤员集中分类站覆盖区域为以伤员集中分类站为中心，以 R 为半径的圆。 R 的大小根据建筑物分布和地震发生的时间、震级等具体情况确定。所以，伤员集中分类站对某种应急医疗资源的需求量为

$$q_2 = \sum_{i=1}^n k_i \lambda_2 S_i \quad (4)$$

其中： k_i 为第 i 个伤员集中分类的分类站系数， S_i 为第 i 个伤员集中分类站覆盖区域内的人员伤亡总数。 k_i 由下式确定：

$$k_i = f(B_i) f(W_i) \quad (5)$$

其中： $f(B_i)$ 为基数， $f(W_i)$ 为修正系数。 $f(B_i)$ 可由

如下公式得到

$$f(B_i) = p_i w_i + b_i (1 - w_i) \quad (6)$$

其中： p_i 为第 i 个伤员集中分类站覆盖区域内的人口密度； b_i 为第 i 个伤员集中分类站覆盖区域内的建筑物密度； w_i 为权值；所以公式 (4) 变为

$$\begin{aligned} q_2 &= \lambda_2 S \sum_{i=1}^n [p_i w_i + b_i (1 - w_i)] f(W_i) \\ &= \lambda_2 S h_2 \end{aligned} \quad (7)$$

其中： n 为应急管理单元内伤员集中分类站的总数，其余参数的意义同上。

(3) 灾区诊所：主要以治疗不需要住院的轻伤 (I) 伤员为主。灾区诊所对某种应急医疗资源的需求量为

$$q_3 = \lambda_3 S h_3 \quad (8)$$

其中 h_3 为轻伤率。

(4) 其他：现场急救与避难所等。其医疗救护主体主要由当地相关医院派出的医生和护士组成，同时包括一定数量志愿者救护队。现场急救主要以个别医生和护士为主，避难所中专业医生和护士主要负责中度及其以上伤员的治疗，志愿者救护队负责轻伤病人（如尚能独立行走，意识清楚伤员）的治疗。由于其不确定性，所以用 q 代替。

因此，公式 (1) 变为

$$\begin{aligned} Q &= \sum_{i=1}^4 q_i - (1 - d) C \\ &= \sum_{i=1}^3 \lambda_i h_i S + q - (1 - d) C \end{aligned} \quad (9)$$

式中参数的意义同上。

2 城市震害单元化应急医疗资源需求模型的 GIS 集成

借助 GIS 平台实现城市震害单元化应急医疗救助资源需求模型涉及到一系列 GIS 技术和方法，包

① Zhitao Wu, Fuping Yang, et al. 2009. Medical Resources Demand Model for Urban Seismic Disaster Response and its GIS Implementation, The 2nd International Conference on Risk Analysis and Crisis Response.

括缓冲区域的分析, 数据库关联分析, 叠加分析等, 城市震害单元化应急医疗资源模型 GIS 集成方案 (图 2)。

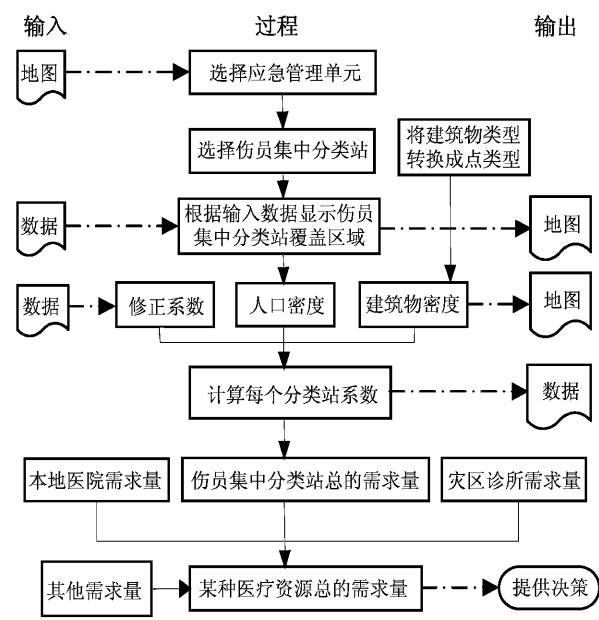


图 2 单元化应急医疗资源模型的 GIS 集成方案
Fig. 2 Flow chart of the GIS implementation of medical resources demand model

(1) 根据应急管理单元的划分原则 (Yang, Huang, 2006), 选择应急管理单元, 至少包含一个当地医院或者符合设置临时医疗救助中心的条件, 如大型停车场、高尔夫球场或者操场等。

(2) 选择伤员集中分类站, 根据震害预测, 可以通过伤员分布情况在伤亡较为集中的地方预设伤员集中运输分类站, 其中伤员集中分类站的类型设置为点, 用红色十字表示。

(3) 显示伤员分类站覆盖区域, 输入缓冲区域的半径, 伤员分类站覆盖区域为以分类站为圆心, R 为缓冲半径的缓冲区域。

(4) 将多边形建筑物转化成点建筑物, 一般来说城市建筑物地理图层的要素特征为多边形, 多边形相交会出现叠加的情况, 如果处理不当, 会出现重复计算或者遗漏的情况。在本模型中, 为了计算伤员分类站覆盖区域内的建筑物密度情况, 采用将多边形建筑物转换成点建筑物的方法。

(5) 人口分布与点建筑物建立数据库关联, 根据时段和建筑物用途的不同, 计算各个点建筑

物内的人口总数, 从而计算伤员分类站覆盖区域内的人口密度。

(6) 根据伤员分类站覆盖区域和人员伤亡评估模型, 计算每个伤员分类站覆盖区域内人员伤亡情况。可以用柱状图表示伤员分类站覆盖区域内每个建筑物内的人员伤亡情况。

(7) 根据公式 (2) ~ (9), 计算每种应急医疗资源的需求量。

3 系统设计与实现

3.1 系统设计目标

基于 GIS 平台, 建立城市震害单元化应急医疗救助辅助系统, 实现信息的快速传递和高效处理。地震发生时, 根据地震的规模、影响范围等情况, 迅速为应急指挥部提供一套完整的应急医疗救助方案并与应急搜救系统、应急消防系统等整合为一套合理的震后应急方案。具体目标:

(1) 建立一套完整的数据库系统, 实现各部门之间的数据共享。

(2) 为地震现场指挥人员提供应急管理单元内人口分布, 道路状况, 建筑物分布, 医疗资源 (如医生、护士、应急药品、医疗器械及设备等信息) 的查询服务。

(3) 地震发生后能够快速准确地评估应急管理单元内的应急医疗资源合理分配已有的资源, 以及外界救援力量到达时科学利用外来资源。

(4) 能够准确快速地提供医疗队救援行进的最佳路径和工程队道路抢修的最佳方案等。

(5) 在伤员转移运输方面, 根据现场反馈信息, 提供合理的伤员运输、转移和路径选择的方案。

(6) 指挥人员根据现场实时反馈的信息, 对医疗救助方案进行修改和优化。

3.2 系统实现的方法

基于 GIS 的城市震害单元化应急医疗救助辅助系统, 具有快速提供应急对策信息和实时处理、分析、显示和集成震害信息等的功能。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和开发模式上尽量采用技术成熟和通用的产品, 具体的技术方法见表 1。

表 1 系统实现的技术方法
Tab. 1 Technical solution of the system

技术形式	采用的方法	说明
开发模式	C/S	系统总体结构模式
开发方式	COM/DCOM	系统开发实现的技术方法
开发工具	C#	系统开发和集成工具
开发平台	ESRI ArcObjects 9. 2	GIS 应用服务
运行平台	ESRI ArcObjects 9. 2 和 Windows XP	系统运行所需平台
数据库平台	Oracle + ArcSDE	数据库服务

3.3 系统架构

为了系统具有良好的响应速度，同时考虑到提高系统的可扩展性，基于层级设计思想，系统采用三层 C/S 模式体系结构。这种系统架构形式能保证应急医疗救助决策的快速与准确。系统的体系结构如图 3 所示。

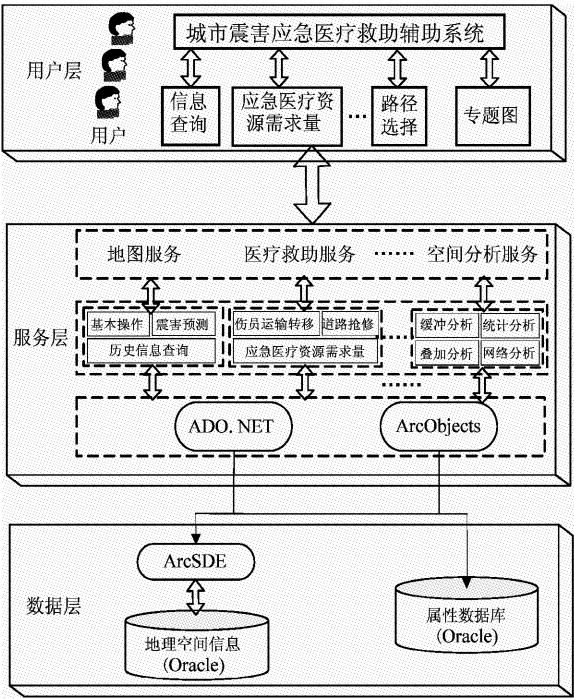


图 3 系统的体系结构
Fig. 3 System structure

3.4 系统的主要功能

以快速、科学、高效的辅助应急救助为目的，在充分整合现有震害预测、资源需求、路径分析等应急救助相关理论的基础上，该系统设计的功能包括：基本操作模块、震害预测模块、应急医

疗资源需求模块、伤员运输转移模块、交通系统维修模块、网络分析模块和辅助决策模块等。相关功能模块以重庆邮电大学为应急管理单元，设计开发了相应的初步试验系统。重庆邮电大学约有 20 000 人，其中校医院有专业医生 29 人，病床 50 张，周围诊所所有医生 6 人，病床 14 张。各模块的具体功能如下：

(1) 基本操作模块

该模块包括文件管理、用户管理、权限管理、地图基本操作、基本信息查询，例如：人口分布信息，建筑物分布信息，医疗资源（包括医生、护士、应急药品、医疗器械及设备等等）等信息的查询以及其他辅助功能（如系统维护、帮助等）。

(2) 震害预测模块

对每个应急管理单元进行灾情预估，然后根据地震灾害损失评估模型，评估震灾带来的损失情况，例如：人员伤亡的数量与地理分布，伤员集中分类站的空间分布，建筑物的倒塌及道路状况等。图 4 所示的曲线为该应急管理单元内不同震级下人员伤亡的基本情况。

(3) 应急医疗资源需求模块

根据城市震害单元化应急医疗资源需求模型及其 GIS 集成应用，做出应急医疗资源需求量的决策。例如，本地医院需要多少医生、护士以及外界力量到达后科学分配这些资源到本地医院或临时医疗中心或伤员集中分类站等。系统界面如图 4 所示。

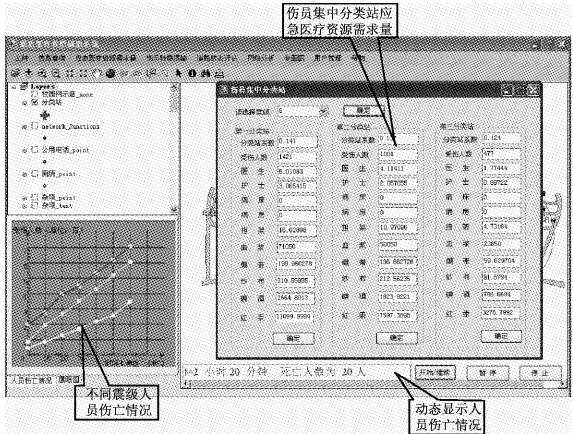


图 4 应急医疗资源需求模块
Fig. 4 Module of emergency medical resources demand

(4) 伤员分类、运输和转移模块

根据伤员的分类和伤员运输、转移的模型以及伤员集中分类站实时的反馈信息,快速准确地确定伤员运输和转移方案。

(5) 交通系统抢修模块

首先,根据震害预测模块,确定震后道路或桥梁连通的概率。然后根据道路或桥梁的重要性,次生灾害产生的危险性和抢修道路或桥梁的时间成本等,确定震后道路或桥梁抢修的顺序。最后利用网络分析模块,确定工程队抢修的最优路径并及时地将维修信息反馈到指挥中心。

(6) 网络分析模块

根据交通系统抢修模块的实时反馈信息,利用该模块,实时分析得出医疗队从指挥中心到伤员集中分类站或者现场救援场地的最佳路径以及伤员集中分类站或者现场救援场地到本地医院或者临时医疗中心的最佳路径。系统界面如图 5 所示,其中绿线为医疗队到达伤员集中分类站的最佳路径,红线为工程队抢修道路的最佳路径,蓝线为绿线路径超过道路最大通行量后的备用的医疗队行进路径。

(7) 辅助决策模块

生成各种统计报表及专题图,供应急指挥部决策。例如,根据震后人员伤亡评估模型,计算出各个建筑物内大体的人员伤亡情况,生成震后人员伤亡的专题图(图 5 中柱状图)。

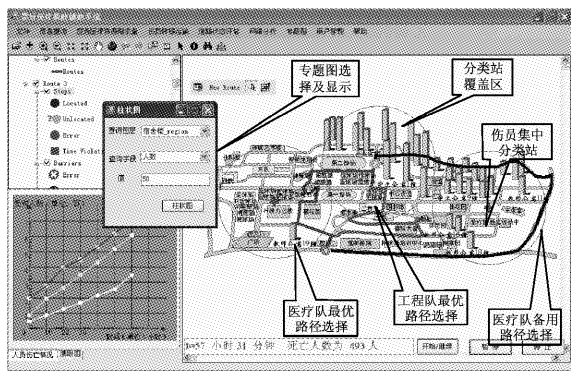


图 5 网络分析和辅助决策模块

Fig. 5 Network analysis and auxiliary decision-making module

设计中考虑了管理员和普通用户两种身份登陆方式。以管理员身份登陆的用户可以实现系统

的全部功能,还可以进行系统资料的修改以及系统的管理与维护,该用户一般为应急指挥部,主要用于灾后应急救助。以普通用户身份登陆的用户只可以查阅该系统中的内容,不能对系统资料进行修改和对系统的维护,该用户为一般的医院医务人员或者灾区人民,主要用于灾前的演练等。

4 结论与展望

本文首先提出了城市震害单元化应急医疗资源的需求模型及其 GIS 集成方案,然后利用 ArcGIS 软件和 COM 开发的相关技术,在相关震害应急救助理论和方法的基础上,开发了基于 GIS 的城市震害单元化应急医疗救助辅助系统,充分利用 GIS 的空间分析功能,为震后医疗救援的快速的响应提供了参考。但是,由于震后医疗救援的复杂性,其研究还有待进一步加强。下一步研究方向主要包括:

(1) 利用 GIS 的相关技术,动态地显示伤员运输、转移和救助的相关过程以及动态的显示震后交通系统的相关状态。

(2) 利用虚拟地理环境的相关技术,将城市震害应急医疗救助的各要素动态的显示,使其救援过程更加直观,更加有效。

参考文献:

- 陈秉钊. 2003. 当代城市规划导论[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 3-5.
- 方世萍,张芝霞. 2004. 城市地震应急救援措施探讨[J]. 灾害学,19(1):31-34.
- 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.
- 凌小凤,韦波. 2006. 我国大中城市应急医疗救援体系现状及其建设的探索思考[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志,1(6):243-245.
- 王志涛,王玲,张志彦,等. 2008. 基于 GIS 的城市震后交通最优路径分析系统[J]. 武汉理工大学学报,32(5):814-817.
- 谢庆生,李罡风,吴华章,等. 2007. 基于 Arcgis 的安徽省地震应急快速反应系统[J]. 防灾科技学院学报,9(2):17-20.
- 新华网. 四川汶川地震伤亡情况[EB/OL](2008-07-29)[2009-06-10] http://news.xinhuanet.com/newscenter/2008-07/29/content_8840652.htm.
- 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.

赵思健,熊利亚,任爱珠. 2006. 基于 GIS 的震后消防扑救仿真[J]. 消防科学与技术,25(4):533-537.

中国赴日地震考察团. 1995. 日本阪神大地震考察[M]. 北京:地震出版社.

Carl H S,M D,Kristi L K 1996. A Medical Disaster Response to Reduce Immediate Mortality after an Earthquake[J]. The New England Journal of Medicine,334(7):438-444.

Yang F P,Huang C F. 2006. A Computer Simulation Method for Harmony among Departments for Emergency Management[C]. in:Applied Artificial Intelligence-Proceedings of the 7th International FLINS Conference,698-703.

Hiroshi Tanaka,Iwai. 1998. Overview of Evacuation and Transport of Patients Following the 1995 Hanshin-Awaji Earthquake[J]. Journal of Emergency Medicine,16(3):439-444.

Jan de Boer,Bo Brismar,Reuben Eldar. 1989. The Medical Severity Index of Disasters[J]. The Journal of Emergency Medicine,7(3):269-273.

Jeffrey M. Franc-Law, Micheal J Bullard. 2008. Accuracy of Computer Simulation to Predict Patient Flow during Mass-Casualty Incidents[J]. Prehospital and Disaster Medicine,23(4):354-360.

Jomon A P,Santhosh K G 2006. Transient Modeling in Simulation of Hospital Operations for Emergency Response[J]. Prehospital and Disaster Medicine,21(4):223-234.

Emergency Medical Aid Auxiliary System of Unitized Urban Seismic Disaster Based on GIS

YANG Fu-ping, WU Zhi-tao, YUAN Zheng-wu, FENG Jiang-fan, LI Lin
(Sino-Korea Chongqing GIS Research Center, College of Computer Science and technology,
Chongqing Univ. of Posts &Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract

The medical resources demand model of emergency management unit (EMU) for urban seismic disaster is proposed based on EMU and the spatial integration and visualization technologies of the model are discussed in this paper. With the support of the object oriented and database technologies, the technical ideas and the solution of emergency medical aid auxiliary system of unitized urban seismic disaster based on GIS (EMAS) are raised. Furthermore, general system logical structures, technical routes and function structures of EMAS are described in detailed by using integrated secondary development methods and testing results of the system have been provided with CQUPT (Chongqing University of Posts and Telecommunications) as the emergency management unit.

Key words: emergency management, emergency medical aid, command and auxiliary decision making system, GIS, demand model