

张文娟.基于移动通信大数据的地震灾区人口伤亡获取与评估系统设计[J].地震工程学报,2019,41(4):1066-1071.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1066

ZHANG Wenjuan.Design of the Population Casualty Acquisition and Evaluation System in Earthquake Disaster Areas Based on Mobile Communication Big Data [J].China Earthquake Engineering Journal,2019,41(4):1066-1071.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1066

# 基于移动通信大数据的地震灾区 人口伤亡获取与评估系统设计

张文娟

(张家口学院,河北 张家口 075000)

**摘要:**针对现有评估系统存在评估准确性低、耗时长以及稳定性差的问题,提出并设计基于移动通信大数据的地震灾害人口伤亡评估系统。给出系统总体架构,结合移动通信大数据,设计震害数据采集、数据传输、人口伤亡评估以及数据统计分析等硬件模块,完成地震灾害人口伤亡数据的采集和数据统计。将第一次定位数据与经过震中烈度和当地人口密度系数修正后,得到的地震数据相比较,基于前后两次定位,若定位后数据不变,可以认定为受伤或者受困,甚至死亡,将第二次定位数据根据键-值的模式排列在表格之内,实现大数据的存储和分析,运用线性回归的原理,构建地震人员伤亡评估模型,完成地震灾害人口伤亡评估系统设计。实验结果表明,该系统评估结果较为准确,与实际评估结果拟合度较高,且该系统评估时效性较好,表明该系统具有一定可行性。

**关键词:**移动通信;地震灾害;人口伤亡评估

中图分类号:P208

文献标志码:A

文章编号:1000-0844(2019)04-1066-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1066

## Design of the Population Casualty Acquisition and Evaluation System in Earthquake Disaster Areas Based on Mobile Communication Big Data

ZHANG Wenjuan

(Zhangjiakou University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China)

**Abstract:** To solve the problems in the existing evaluation system, i.e., low evaluation accuracy, long time consumption, and poor stability, a seismic disaster casualty assessment system based on mobile communication big data is proposed and designed. The overall system architecture is first given; then, combined with the mobile communication big data, hardware modules, including systems for seismic damage data acquisition, data transmission, population injury assessment, and data statistical analysis, are designed. Finally, the acquisition and data statistics of the population casualties of earthquake disasters are completed. The first positioning data are compared with the seismic data after the correction of the epicenter intensity and local population density coefficient. If the positioning data remain unchanged, the casualty can be regarded as injured

收稿日期:2018-10-23

基金项目:国家自然科学基金项目(17BTY005)

作者简介:张文娟(1980-)女,河北张家口人,讲师,研究方向:计算机技术。E-mail:zhangwj1230@126.com。

or trapped, or even dead. According to the key-value pattern, the second positioning data are arranged in a table to store and analyze the big data. Using the principle of linear regression, the earthquake casualty assessment model is constructed, and the earthquake disaster population casualty assessment system is designed. The experimental results show that the system evaluation result is accurate, and the fitting degree with the actual evaluation results is high, indicating that the system has a certain feasibility.

**Keywords:** mobile communication; earthquake disaster; population casualty assessment

## 0 引言

地震是一种极具破坏力的自然灾害,我国近年来破坏性地震发生频率有所上升,每次地震发生都给人类带来巨大的人身以及财产损失<sup>[1]</sup>。由于目前人类对地震的预报水平尚处于发展阶段,无法满足实际需求,因此在灾害性地震到来的时候,快速有效的救灾是降低人口伤亡的重要措施,这就需要对地震灾害人口伤亡情况进行有效评估<sup>[2]</sup>。移动通信大数据兴起后,手机定位数据在人口分布研究中得以应用,根据通信网络中的用户手机定位数据推算灾区人口伤亡情况,具有时效性以及客观性,将人口数据由静态转化为动态,有利于应急救援人员快速掌握灾区人口分布情况,为制定合理的救援对策提供依据。

众多学家对地震灾害人口伤亡评估方法进行了研究,并取得了一定成效。王曦等<sup>[3]</sup>选取 10 种地震灾害评估模型为实验对象,对其进行验证分析,得出对于不同震级地震,应采取具体对应方法进行评估的结论,但研究过程耗时较长;何萍等<sup>[4]</sup>详细描述了地震灾害评估系统的架构设计,以及研发过程中的设计思路,实现了地震灾后人口伤亡的快速评估,可提供较为准确的伤亡数据,但系统运行的稳定性较差;周德红等<sup>[5]</sup>总结出地震等级、地震时间、震源烈度以及人口密度等相关评估因素,结合这些因素与震后死亡人数的非线性关系,建立了地震灾害人口伤亡预测模型,利用遗传算法和 BP 神经网络方法完成了震后人口伤亡评估,但评估结果准确性较低。

为解决上述存在的问题,提出并设计了一种基于移动通信大数据的地震灾害人口伤亡评估系统。通过移动通信定位技术对移动终端信息进行采集,通过被动 Cell-ID 定位法原理,获取被定位对象信息的一种数据集合,由数据传输器负责将地震相关数据传输至中心指挥器,由中心指挥器统一做出指挥和调度,并利用数据分析机进行数据处理,将数据处理结果导出到外部接口,由操作台进行评估处理。

## 1 地震灾害人口伤亡评估系统

移动通信大数据是指通过移动通信定位技术对移动终端信息进行采集,获取被定位对象信息的一种数据集合<sup>[6]</sup>。本文基于移动通信大数据对地震灾害人口伤亡状况进行评估,以保障地震灾害人口伤亡数据的及时性与准确性,具体地震灾害人口伤亡评估系统架构如图 1 所示。

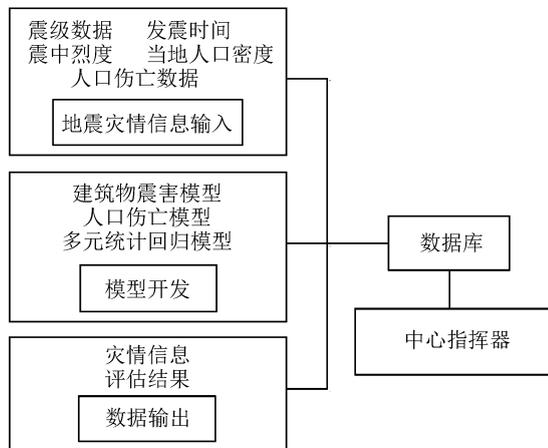


图 1 地震灾害人口伤亡评估系统架构

Fig.1 Framework of earthquake disaster population casualty assessment system

根据图 1 可知,系统总体架构包括地震灾情信息输入、模型开发和数据输出三大主要部分,利用移动通信技术进行震级数据、发震时间以及灾害人口伤亡数据等信息的定位与采集,导入地震灾情数据输入端,以此为数据基础,建立建筑物震害模型、人口伤亡模型等,最终得出地震灾害人口伤亡评估结果,并及时输出。

### 1.1 硬件设计

根据系统总体架构,将地震灾害人口伤亡评估系统划分震害数据采集模块、数据传输模块、人口伤亡评估模块以及数据统计分析模块。各模块之间存在的内在关系如图 2 所示。

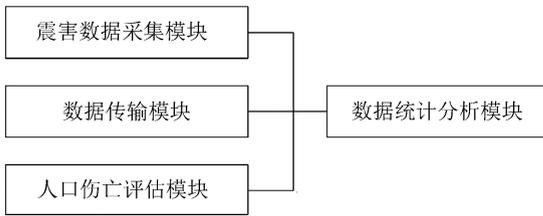


图2 系统各模块关系

Fig.2 Relationship between modules of the system

对图2中的各模块进行详细分析,如下所示。

### (1) 震害数据采集模块

地震灾害评估中,震害数据采集是系统运行的基础<sup>[7]</sup>,采集器结构如下所示。

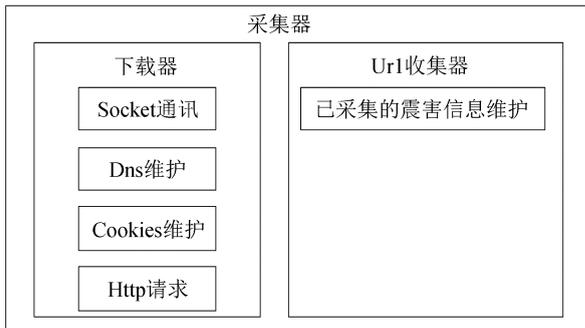


图3 震害数据采集器结构图

Fig.3 Structure diagram of earthquake damage data collector

### (1) 下载器

#### (a) Socket 模块

负责震害信息的创建和维护、参数设置以及通讯。

#### (b) Dns 模块

负责域名解析以及震害信息维护。

#### (c) Cookies 模块

维护需要通过 Cookies 访问站点的 Cookies 信息。

#### (d) Http 请求模块

负责发送 Http 请求并接收站点返回的数据信息。

### (2) Ur1 收集器

#### (a) 维护已采集 Ur1 信息,管理震害有效信息;

#### (b) 维护需要进一步提取的震害信息。

震害数据采集模块采集器线路如图4所示。

采集器选择的网线为 Cat5e/6 网线,在传输过程中运用 VGA 信号,针对不同路径的传输信号采用不同的处理方式。电源处选择过压电路保护,采集端口的流量保护模式为 3 级保护模式,为系统的安全运行提供了很好的保障<sup>[8]</sup>。根据被动 Cell-ID

定位法原理,经由采集器获取被定位对象信息的一种数据集合。具体步骤如下:

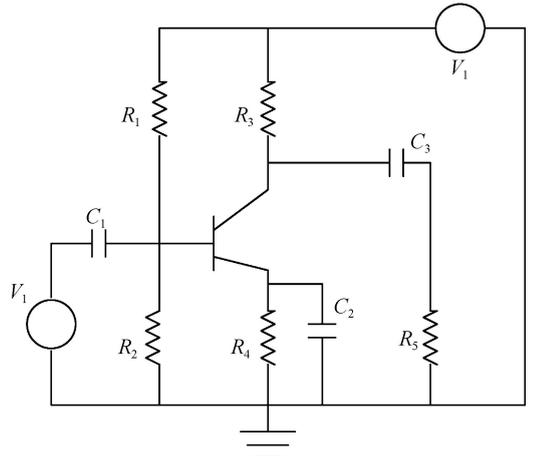


图4 采集器线路图

Fig.4 Collector circuit diagram

将定位区域划分为各个子区域;建立状态转移矩阵和观察概率矩阵,所述状态转移矩阵的元素表示移动台从一个子区域转移到另一个子区域的概率,所述观察概率矩阵的元素表示移动台位于其中一个子区域时接收到其中一个基站的概率;获取移动台接收到的基站信息,选择所述状态转移矩阵的初始状态向量;根据所述初始状态向量和所述状态转移矩阵确定定位时刻的状态向量;根据获取的基站信息和所述观察概率矩阵确定定位时刻的观测向量;根据定位时刻的状态向量和观测向量确定移动台位于各个子区域的概率,概率最大的区域即为定位时刻移动台的位置。通过数据采集器获取被定位对象信息的一种数据集合。

### (2) 数据传输模块

在数据传输模块中,主要由数据传输器负责将地震相关数据传输至中心指挥器,本文选用的传输器芯片为 MAUX8996 芯片,该芯片能够与外部总线接口和其他模块接口对应,以特定的时序逻辑连接,MAUX8996 芯片的硬件代码通过 IP 核编辑,识别 CLAS 的任何固定模式信号。传输器内部拥有 160 个引脚,每个引脚连接不同的扩展接口和接口总线<sup>[9-10]</sup>。传输器结构如图5所示。

图5的存储器对地震灾害相关数据传输的范围可以达到 300 m 以上,能够支持 VGA、SVGA、XGA、SXGA、WXGA 等信号的传输,最高分辨率可达到  $1\ 823 \times 1\ 532\text{p}/80/120\ \text{Hz}$  的超高清分辨率,安装时不需要安装驱动程序,也不需要重设网络,十分简单方便。最重要的一点是,设计的传输器能够

支持视频和音频同步传输,有效地避免了延时现象和异步现象的出现<sup>[11]</sup>。

数、受伤人数和无家可归者人数,将统计结果通过显示器显示,提供灾害人口数据查询统计功能。

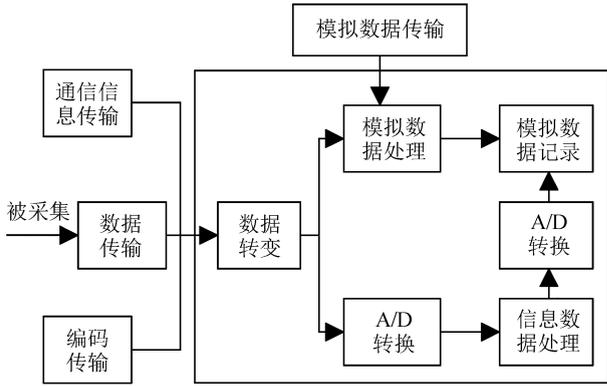


图 5 传输器结构图

Fig.5 Transmission structure diagram

(3) 用户手机数据定位模块

人口伤亡评估系统的核心模块是用户手机数据定位模块,该模块成立的基础条件是移动终端的连接情况,在对地震灾害人口伤亡进行评估之前<sup>[12]</sup>,先对移动终端是否连接到无线通信设备进行确认,因此在本模块设计中,主要分为移动终端连接模块和人口伤亡评估两个部分<sup>[13]</sup>。由移动通信主机将采集得到的建筑物损害数据和人口伤亡数据导入系统,传输至中心指挥器,由中心指挥器统一做出指挥和调度,并利用数据分析机进行数据处理,将数据处理结果导出到外部接口,由操作台进行评估处理。根据以上过程,可得出用户手机数据定位模块结构,如图 6 所示。

1.2 软件设计

比较第一次定位数据与经过震中烈度和当地人口密度系数修正后得到的地震数据,基于前后两次定位,若定位后数据不变,可以认定为受伤或者受困,甚至死亡,将第二次定位数据根据键-值的模式排列在表格之内,表格又保存于 HBase 中,实现大数据的存储和分析,运用线性回归的原理,采用统计分析软件对所选数据进行回归分析,帮助得到模型中所需的回归系数,最终确定线性回归方程,即人员伤亡评估模型。完成地震灾害人口伤亡评估系统设计。

第一次定位数据计算方法如下:

$$J_1 = 9.6 \times 10^{-11} e^{4.2m} \quad (1)$$

式中: $J$  表示地震伤亡人数; $m$  表示震中烈度系数。

修正震中烈度、人口密度系数。根据数据统计显示,在相同的震中烈度条件下,夜间发生地震伤亡人数相比白天地震伤亡人数多,假设白天的震中烈度修正系数为 1,则可得出夜间不同震中烈度下的修正系数,用表 1 描述。

表 1 夜间不同震中烈度下的修正系数

Table 1 Correction coefficient under different epicenter intensity at night

震中烈度	VI	VII	VIII	IX
修正系数	1.6	1.3	1.1	1.0

地震灾害人口伤亡与当地人口密度的关系可用表示为:

$$J = 0.055 3\alpha + 1.96 \quad (2)$$

式中: $\alpha$  表示当地人口密度。人口密度修正系数  $\beta$  可表示为:

$$\beta = 0.005 8\alpha + 0.161 2 \quad (3)$$

用表 2 描述。

表 2 人口密度修正系数

Table 2 Correction factor of population density

人口密度 $\rho / (\text{人} \cdot \text{km}^{-2})$	<50	50~200	200~500	>500
修正系数 $\beta$	0.8	1.0	1.1	1.2

修正后数据计算方式为:

$$J_2 = 0.193 6K^2 - 0.532 1I - 5.209 \quad (4)$$

式中: $I$  表示人口密度系数; $K^2$  表示人口伤亡系数。

如若  $J_1 = J_2$ , 可以认定受困人员为受伤、受困,甚至死亡。

将修正后的数据  $J_2$ , 根据键-值的模式排列在表格之内,表格保存于 HBase 中,运用线性回归的原理,采用统计分析软件对所选数据进行回归分析,

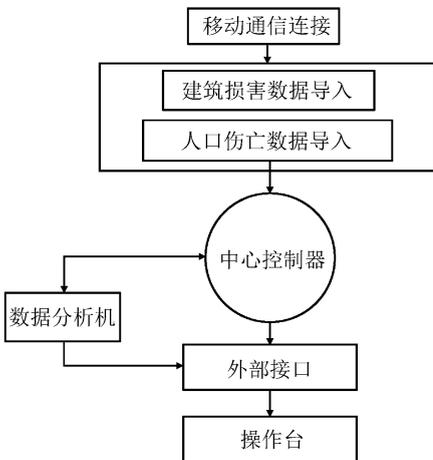


图 6 用户手机数据定位模块结构

Fig.6 The structure of user mobile phone data positioning module

(4) 数据统计分析模块

数据统计分析模块主要是对地震灾害人口伤亡评估结果进行统计,统计出具体的地震灾害死亡人

帮助得到模型中所需的回归系数,最终确定线性回归方程,即人员伤亡评估模型。以下是回归分析的过程。

(1) 定义变量。 $y_1$  为死亡人数, $y_2$  为受伤人数, $x_1$  为房屋倒塌的面积, $x_2$  为房屋严重破坏的面积, $x_3$  表示房屋一般破坏面积。选取的人员伤亡数据及房屋破坏面积依次输入对应的变量中,进行线性回归分析。

(2) 选择因变量。

(3) 在输出结果中,得到人员伤亡预测模型中的回归数,分别为0.001 73,0.000 691,0.000 10。

按照上述步骤可以得到人员伤亡预测模型中的回归系数,最后建立地震人员伤亡评估模型,如下所示:

$$M_{d1} = \frac{0.001\ 73A_1 + 0.000\ 691A_2 + 0.000\ 109A_3}{J_2} \quad (5)$$

式中: $M_{d1}$  表示预测区的伤亡人数。地震发生后,媒体及时公布各个时间段的人员伤亡情况,通过移动通信数据,由某一时间的人员伤亡报道数推测最终的人员伤亡。人员伤亡数的变化设定为指数增长,公式如下:

$$N(t) = N_0 [1 - \exp(-M_{d1}t)] \quad (6)$$

式中: $N(t)$  表示报道时刻的人口伤亡人数; $N_0$  表示最终伤亡人数。

采用最小二乘法,进行地震灾害人员伤亡估算。

$$\lg RD = 9.0N_0 - 10.07 \quad (7)$$

式中: $RD$  表示人员伤亡率。

## 2 实验结果与分析

为验证本文设计的基于移动通信大数据的地震灾害人口伤亡评估系统的有效性,需要进行实验分析。

对本文地震灾害人口伤亡评估系统评估结果与实际评估结果的拟合度进行分析,结果如表 3 所列。

表 3 评估结果拟合度

Table 3 Fitting degree of evaluation results

指标	取值
和方差	0.025 1
均方根	0.865 2
确定系数	0.968 2
调整的确定系数	0.986 9

表 3 的各项指标中,最能体现拟合效果是否良好的指标为和方差和确定系数,其中和方差取值越接近 0,表示拟合效果越好;确定系数取值越接近 1,表示拟合效果越好。根据表 3 可知,本文系统的和

方差为 0.025 1,接近 0,确定系数和调整后的确定系数分别为 0.968 2 和 0.986 9,接近 1,表明本文系统评估结果拟合度较好,结果较为准确。

在抗震救灾过程中,快速及时地对地震灾害人口伤亡结果进行评估,是降低地震损失的重要方式。为验证本文设计系统的程序运行速度,结合系统接收定位对象信息的数据集合后,按照地震灾害人口伤亡评估流程进行伤亡人口评估的时间,对本文系统与文献[5]系统的评估时效性进行对比,结果如图 7 所示。

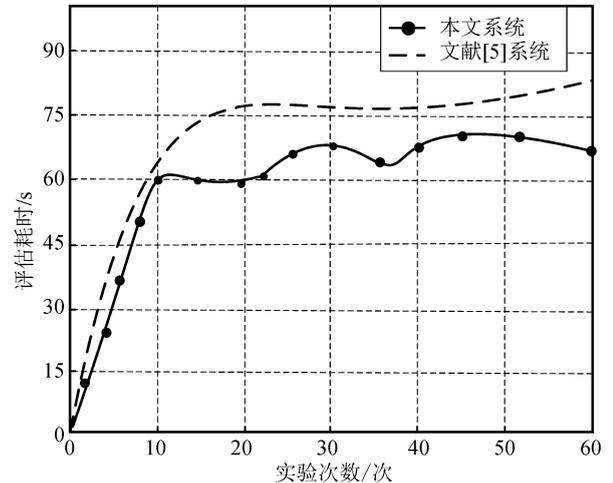


图 7 两种系统评估速度对比

Fig.7 Comparison between time effectiveness of two systems

根据图 7 可知,本文系统的地震灾害人口伤亡评估耗时维持在 60 s 左右,文献[5]系统的评估耗时则平均处于 75 s 左右,两个系统在前 10 s 时评估耗时的增长趋势近似,在实验次数超过 10 次后,本文评估系统的整体耗时较低一些,表明本文系统进行评估时所用时间较少,评估速度得到保证,缩短了受伤人员搜救时间。

为进一步验证本文系统的优越性,对系统运行的稳定性进行对比。对比结果如表 4 所列。

表 4 两种系统运行的稳定性对比

Table 4 Comparison between stability of two systems

实验次数/次	本文系统稳定性/%	文献[5]系统稳定性/%
10	96.3	83.2
20	95.6	80.3
30	98.3	89.3
40	94.8	82.1
50	95.8	81.2
60	94.5	88.9
平均值	94.55	84.1

根据表 4 可知,在 60 次的实验测试中,相较于文献[5]系统,本文系统运行稳定性更佳,为地震灾

害人口伤亡的准确评估提供了保障。主要原因在于本文系统在采集器设计过程中,电源处选择过压电路保护,采集端口的流量保护模式为 3 级保护模式,与传统的采集器相比,提高了采集器的驱动能力,为系统的稳定运行提供保障。

### 3 结语

震后人员的伤亡情况是人们关注的重点,对地震灾害人口伤亡情况进行评估具有重要意义。本文提出并设计了基于移动通信大数据的地震灾害人口伤亡评估系统。将系统总体结构框架分为地震灾情信息输入、模型开发和数据输出三大主要部分,通过移动通信定位技术对移动终端信息进行采集,获取被定位对象信息的一种数据集合,由数据传输器负责将地震相关数据传输至中心指挥器,由中心指挥器统一做出指挥和调度,将数据处理结果导出到外部接口,由操作台进行评估处理;基于前后两次定位,若定位后数据不变,则可以认定为受伤或者受困,甚至死亡,将第二次定位数据进行回归分析,完成地震灾害人员伤亡评估。实验结果表明,该系统评估结果与实际评估情况拟合度较高,具有较为准确的评估效果,且该系统在时效性以及系统稳定性方面均优于传统系统,为降低地震灾害伤亡提供了理论支撑。由于手机定位后进行评估需要一段时间,或者询问无应答为死亡或受伤,或者直接获取信息,因此下一步的研究方向需要结合该段时间的平均值进行探讨研究,进一步缩短搜救总体时间,降低地震伤亡率。

鉴于论文篇幅所限,有关详细的技术环节在文中没有能做更多详述,如有兴趣者可与作者联系。另外作者系计算机相关专业人员,对地震行业技术深入程度不够,想法仅仅是对震害评估提供参考,但水平有限,文中论述错误难免,甚至可能完全是错误的,望读者给予批评指正。

### 参考文献(References)

[1] 马秀芳,赵晋泉,薛晓东,等.山西清徐地裂缝调查与灾害损失评估研究[J].地震工程学报,2016,38(2):308-313.  
MA Xiufang, ZHAO Jinquan, XUE Xiaodong, et al. Research on Ground Fissures Survey and Disaster Loss Assessment in Qingxu[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(z2):308-313.

[2] 钟德燕,郭欣,王小龙,等.基于移动通信大数据的地震灾区人

口快速处理系统研究[J].山西地震,2018,25(1):125-127.  
ZHONG Deyan, GUO Xin, WANG Xiaolong, et al. Research on Rapid Population Processing System of Earthquake Disaster Area Based on Mobile Communication Big Data[J]. Earthquake Research in Shanxi, 2018, 25(1):125-127.

[3] 王曦,周洪建,张弛.地震灾害死亡人口快速评估方法对比研究[J].地理科学,2018,38(2):235-238.  
WANG Xi, ZHOU Hongjian, ZHANG Chi. A Comparative Study on Rapid Evaluation Methods of Death Population Caused by Earthquake Disasters[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(2):235-238.

[4] 何萍,陈修吾,何霆,等.基于 GIS 的东莞市地震灾害评估系统的设计与实现[J].华南地震,2017,37(3):9-17.  
HE Ping, CHEN Xiuyu, HE Ting, et al. Designing and Implementation of Earthquake Disaster Assessment Software System for Dongguan City[J]. South China Journal of Seismology, 2017, 37(3):9-17.

[5] 周德红,冯豪,程乐棋,等.遗传算法优化的 BP 神经网络在地震死亡人数评估中的应用[J].安全与环境学报,2017,17(6):2267-2272.  
ZHOU Dehong, FENG Hao, CHENG Leqi, et al. Earthquake Casualty Assessment Based on the BP Neural Network of the Optimized Genetic Algorithm[J]. Journal of Safety and Environment, 2017, 17(6):2267-2272.

[6] 文彦君,杨宏伟.陕西省地震灾害宏观人口脆弱性评估[J].华南地震,2016,36(4):42-49.  
WEN Yanjun, YANG Hongwei. Macro Assessment of Earthquake Disaster Population Vulnerability in Shaanxi Province[J]. South China Journal of Seismology, 2016, 36(4):42-49.

[7] 姚远,胡伟华,吴国栋,等.2015 年 7 月 3 日新疆皮山  $M_s 6.5$  地震烈度与地震地质灾害特点[J].地震工程学报,2016,38(4):663-668.  
YAO Yuan, HU Weihua, WU Guodong, et al. Geological Hazard Characteristics and Seismic Intensity of July 3, 2015, Pishan, Xinjiang,  $M_s 6.5$  Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(4):663-668.

[8] 朱林,姜立新,杨天青. BP 神经网络模型在地震应急人员伤亡评估中的应用[J].自然灾害学报,2015,24(6):33-41.  
ZHU Lin, JIANG Lixin, YANG Tianqing. Application of BP Neural Network Model to Earthquake Emergency Casualty Assessment[J]. Journal of Natural Disasters, 2015, 24(6):33-41.

[9] 吴新燕,余世舟.玉溪盆地地震死亡人数快速评估方法研究[J].国际地震动态,2015(9):188-188.  
WU Xinyan, YU Shizhou. Study on Rapid Evaluation Method of Earthquake Death in Yuxi Basin[J]. Recent Developments in World Seismology, 2015(9):188-188.

[10] 和朝霞,韶丹,孙哲,等.基于行政村居民地的地震人员死亡评估方法研究——以陕西礼泉县为例[J].灾害学,2016,31(2):84-88.

- ZHANG Guofu, WANG Yongqi, SU Zhaopin, et al. Modeling and Solving Multi-objective Allocation-scheduling of Emergency Relief Supplies[J]. Control and Decision, 2017, 32(1): 86-92.
- [8] 张志霞, 谭俊, 肖晗. 大规模突发事件应急资源调度的多目标鲁棒优化研究[J]. 工业安全与环保, 2017, 43(8): 1-4.
- ZHANG Zhixia, TAN Jun, XIAO Han. Multi-Objective Robust Optimization of Emergency Resource Scheduling for Large Scale Emergency[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2017, 43(8): 1-4.
- [9] 史春侠. 保密通信在电子应急系统中的应用及设计[J]. 电子设计工程, 2016, 24(22): 152-154.
- SHI Chunxia. Application and Design of Secure Communication in Electronic Emergency System[J]. Electronic Design Engineering, 2016, 24(22): 152-154.
- [10] 杨远昭, 杨俊, 吕春杰. 内燃机冷热电联产系统优化管理调度仿真[J]. 计算机仿真, 2017, 34(1): 259-263.
- YANG Yuanzhao, YANG Jun, LÜ Chunjie. Optimal Management of Scheduling Simulation of Gas Engine Combined Cooling, Heating and Power[J]. Computer Simulation, 2017, 34(1): 259-263.

\*\*\*\*\*  
(上接第 1071 页)

- HE Zhaoxia, SHAO Dan, SUN Zhe, et al. Evaluation Method of Earthquake Death of Administrative Village Residents——A Case Study on Liqun County[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 84-88.
- [11] 唐丽华, 李山有, 宋立军. 地震灾害风险评估方法的对比分析——以乌鲁木齐市为例[J]. 地震工程学报, 2016, 38(5): 838-845.
- TANG Lihua, LI Shanyou, SONG Lijun. Comparative Analysis of Earthquake Risk Assessment Methods: A Case Study on Urumqi City[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(5): 838-845.
- [12] 熊金红, 陈岑, 孙萌, 等. 基于地震反射特征的梨树断陷白垩纪沉积研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(16): 27-34.
- XIONG Jinhong, CHEN Cen, SUN Meng, et al. Research of Cretaceous Sedimentary Based on Seismic Reflection Characteristics in Lishu Rift[J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(16): 27-34.
- [13] 吴昊昱, 吴新燕, 李宏伟. 基于神经网络的地震死亡人数快速评估研究[J]. 科技通报, 2017, 33(4): 241-244.
- WU Haoyu, WU Xinyan, LI Hongwei. Research on Rapid Assessment of Earthquake Death Toll Based on Neural Network[J]. Bulletin of Science and Technology, 2017, 33(4): 241-244.
- [14] 王晓东, 吴雅琴. 基于模糊综合评判的网络受损状态评估的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2016, 39(23): 83-85.
- WANG Xiaodong, WU Yaqin. Design and Implementation of Network Damage State Evaluation Based on Fuzzy Comprehensive Judgment[J]. Modern Electronics Technique, 2016, 39(23): 83-85.