

吴红亚, 郇战, 顾卫杰, 等. 物联网技术在地震受困人员应急搜救中的应用研究[J]. 地震工程学报, 2019, 41(3): 788-792. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.03.788

WU Hongya, HUAN Zhan, GU Weijie, et al. Internet of Things Technology Applied to Earthquake Emergency Search and Rescue of Trapped Personnel[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(3): 788-792. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.03.788

物联网技术在地震受困人员应急搜救中的应用研究

吴红亚¹, 郇战², 顾卫杰¹, 王云良¹

(1. 常州机电职业技术学院 江苏省物联网与制造业信息化工程技术研究开发中心, 江苏 常州 213164;
2. 常州大学信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 为能在搜救地震受困人员时, 实时监测灾区情况, 增强实时性及降低搜救误差, 研究物联网技术在地震受困人员应急搜救中的应用, 设计基于物联网的地震应急搜救系统, 采用 RFID 识读器将采集的数据通过互联网传输至数据处理中心服务器上, 再反馈至灾区信息处理子系统中的监测防御模块中, 若出现异常情况则开启射频模块, 命令现场报警装置响应报警应急搜救信号; 通过蚁群算法获取最优搜救路线, 及时搜救地震受困人员。实验结果表明, 设计系统可有效搜救地震受困人员, 且系统的吞吐率高达 90%, 搜救准确率均值高达 97.6%, 耗时均值仅为 0.88 h, 具有较高的搜救准确率和搜救效率。

关键词: 物联网; 地震; 受困人员; 应急搜救; RFID 识读器; 蚁群算法

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)03-0788-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.03.788

Internet of Things Technology Applied to Earthquake Emergency Search and Rescue of Trapped Personnel

WU Hongya¹, HUAN Zhan², GU Weijie¹, WANG Yunliang¹

(1. Jiangsu Internet of Things and Manufacturing Industry Informatization Engineering Technology Research and Development Center, Changzhou Vocational Institute of Mechatronic Technology, Changzhou 213164, Jiangsu, China;

2. School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, Jiangsu, China)

Abstract: To monitor conditions in disaster areas in real time, enhance real-time performance and reduce the error of search and rescue, the application of the Internet of Things technology in earthquake emergency search and rescue of trapped personnel was studied, and applied to the design of an earthquake emergency search and rescue system. The collected data were transmitted through the Internet to the data processing center server by a RFID reader, and then fed back to the monitoring and defense module of the information processing subsystem in the disaster area. If an abnormal situation occurred, the radio frequency module would be turned on to order the in-

收稿日期: 2018-09-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(61772248); 江苏省高水平高等职业院校建设项目(苏教高[2018]2号); 江苏省高等职业教育高水平骨干专业建设项目(苏教高[2017]12号); 江苏高校“青蓝工程”资助项目(苏教师[2018]12号); 常州市高技术研究重点实验室项目(CM20183002)

第一作者简介: 吴红亚(1981—), 女, 江苏常州人, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 物联网应用技术。E-mail: toni8110@163.com。

situ alarm device to respond to the emergency search and rescue signal. The optimal search and rescue route could be calculated with the ant colony algorithm, and the earthquake trapped personnel could be timely searched and rescued. The experimental results showed that the designed system can effectively search and rescue earthquake trapped personnel. The throughput of the system was as high as 90%, the average accuracy rate of search and rescue as high as 97.6%, and the average consuming time was only 0.88 h. The system showed high search and rescue accuracy and efficiency.

Keywords: Internet of things; earthquake; trapped personnel; emergency search and rescue; RFID reader; ant colony algorithm

0 引言

当前我国地震发生频率较高,严重威胁了人们的生命和财产安全,对地震受困人员的准确搜救是人们关注的重要问题。目前相关学者对地震受困人员的应急搜救方法进行研究,得到的结果有:文献[1]根据多目标规划模型的特点,构建灾后应急救援队伍派遣及道路重建的联合规划模型,仅能在灾后进行应急救援,实时性较低且误差较大;文献[2]设计震后应急物流动态选址-联运问题的双层规划模型,由于模型中采用的混合遗传算法稳定性较差,导致规划路线误差较大;文献[3]设计地震应急救援差异性查询系统,其采用的多源数据处理与集成方法较为复杂,在应急搜救路径规划中速度较慢。文献[4]研究了基于物联网的感知矿山体系结构与关键技术,侧重于矿山环境的感知分析,缺乏矿山坍塌后人员搜救路径构建的分析,具有较高的局限性。文献[5]分析了地震烈度应急遥感评估方法,仅能对地震烈度情况进行分析,无法有效检测出地震区域中受困人员位置,不能实现地震受困人员的应急搜救。

为提高搜救地震受困人员的实时性及准确率,本文设计基于物联网的地震应急搜救系统,实时监控灾区情况及时报警应急搜救,并采用基于蚁群算法的最优应急搜救路线选择方法来获取最优应急搜救路线,提高地震受困人员搜救的效率和准确率,最大程度确保人民群众的生命和财产安全。

1 基于物联网的地震应急搜救系统

1.1 系统整体结构设计

本文系统由下述几个模块构成:

- (1) 监测地震的各种传感器构成的无线传感网络模块。
- (2) 标志、传输灾区每个物联网单元各方面状况的 RFID 模块和基于无线射频技术的通信工具。

(3) 由 GPS 和卫星组成的物联网精确定位模块^[6]。

(4) 由微处理器、单片机和软件系统以及在线数据库等组成,用于分析和决策灾区环境数据的主控制器^[7]。系统整体结构图用图 1 描述。

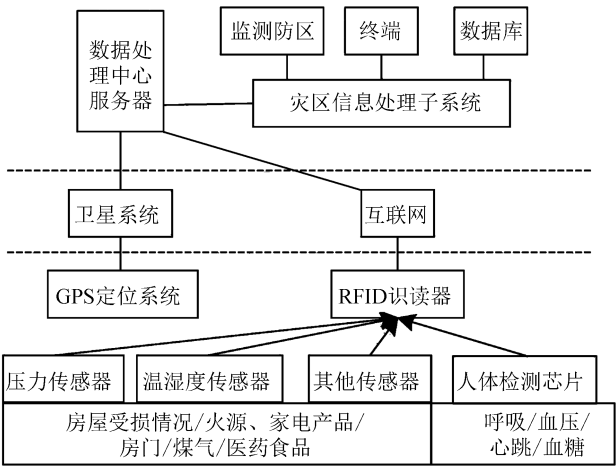


图 1 系统整体架构图

Fig.1 Overall architecture diagram of the system

1.2 RFID 识读者设计

系统通过 RFID 识读者采集地震信息,并通过各类传感器采集地震灾区中每个物联网单元(传感网络节点)中的数据^[8]。系统采用的传感器都是开关量传感器,如果监测参数大于设定的安全阈值,传感器和单片机连接的引脚电平会上下波动,只有在同一个监测防区里和单片机连接的各个传感器都出现引脚变动时,逻辑关系为有效,单片机便判定此次报警有效^[9]。RFID 识读者的功能是传输传感器采集的地震灾区数据^[10],将采集的地震灾区数据信息通过互联网传输至数据处理中心服务器上,然后反馈至灾区信息处理子系统,该种设计过程可有效提升数据的实时性和传输效率^[11]。传感网络节点与 RFID 识读者交互过程用图 2 描述。

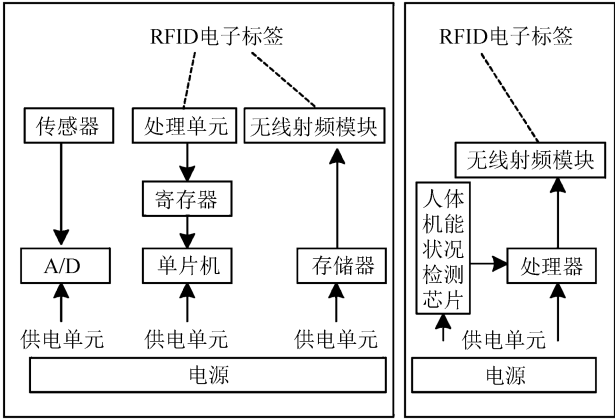


图 2 传感网络节点和 RFID 识读器交互结构图
Fig.2 Interaction structure diagram between sensor network node and RFID reader

1.3 监测防区模块设计

监测物联网单元的电子标签中的监测防区模块包含传感器、现场报警装置、电源模块、MCU 与射频模块。电源模块不仅作为设备工作的供给,还作为备用电源;MCU 是单片机。监测防区模块的功能是实时接收 RFID 识读器中传感器的监测信息,若出现异常情况,则单片机开启射频模块,并命令现场报警装置响应报警应急搜救信号^[12]。监测防区结构用图 3 描述。

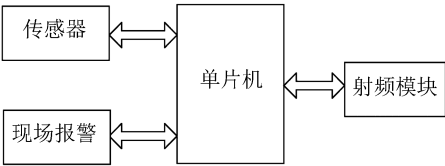


图 3 监测防区结构图
Fig.3 Monitoring area structure diagram

1.4 基于蚁群算法的最优搜救路线选择

系统通过蚁群算法获取最优搜救路线,及时搜救地震受困人员,详细过程为:

(1) 选择 n 个较差的地震受困人员搜救路线,依据路线一致的属性信息,使用 TOP-K 排序算法输出 n 个较差路线^[13]。设定 4 个路线属性,依次是地震受困人员搜救路线距离 a 、道路状况 b 、交通状况 c 和实时天气情况 d 。打分函数是:

$$F(t)=\frac{1}{a}+b+c+d$$

(1)

式中: $F(t)$ 代表地震受困人员搜救路线优劣分数。

(2) 初始化算法参数。算法参数的初始化根据经验值进行设置,在选择流程中, n 个较差的信息素初始值设定都较小,依据该值准确区分当前路径和

其他地震受困人员搜救路线^[14]。

(3) 人工蚂蚁的初始分布。蚂蚁的初始分布是将全部蚂蚁都放在相同的出发点和终止点。

(4) 根据地震受困人员搜救状态转移概率 q_{ij}^k 实现蚂蚁搜索。蚁群算法采用式(2)运算状态转移概率:

$$q_{ij}^k=\begin{cases} \frac{[z_{ij}]^{\alpha}[x_{ij}]^{\beta}[v_{ij}]^{\gamma}}{\sum_{i\in M_k}[z_{ij}]^{\alpha}[x_{ij}]^{\beta}[v_{ij}]^{\gamma}}, & j\in\text{allowed}_k \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

(2)

式中: z_{ij} 表示安全地带距离搜救灾区的信息浓度; x_{ij} 表示灾区地点转移至安全地带的可见度,也称启发信息; v_{ij} 表示灾区地点转移至安全地带所需的速度; i 与 j 表示安全地带和灾区地点, α 、 β 、 γ 是计算参数,所有搜救路径集合设为 M_i^k 。

(5) 更新信息素,清空禁忌表。信息素更新分为全局更新和局部更新两个过程,更新方法见式(3)和式(4),信息素更新完毕,清空禁忌表,为下次搜索做准备。

$$z_{ij}(t+1)=(1-k)z_{ij}(t)+\sum_{k=1}^n\Delta z_{ij}(t)$$

(3)

$$\Delta z_{ij}(t)=\begin{cases} \frac{W(t)}{M_i^k}, & \text{边}\langle i,j\rangle\text{在蚂蚁}k\text{的路径上} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

(4)

式中: $z_{ij}(t+1)$ 代表安全地带距离搜救灾区的信息浓度全局更新; $\Delta z_{ij}(t)$ 代表安全地带距离搜救灾区的信息浓度局部更新; $W(t)$ 表示时变函数, $W(t)=\text{const}\times[1-\sum_{r=1}^n\theta_r(t)]$, const 表示信息素常量, $\theta_r(t)$ 描述的是 t 时刻第 r 影响因素的影响程度。

信息素挥发因子 k 的大小干扰蚁群算法的全局搜索能力和收敛速度, k 较大则会减弱全局搜索能力^[15], k 较小会降低收敛速度。信息素挥发因子 k 的更新方法为:

$$k(t)=\begin{cases} 0.95k(t-1), & 0.95k(t-1)\geq k_{\min} \\ k_{\min}, & \text{否则} \end{cases}$$

(5)

(6) 获取最优搜救路线,并判别是否符合结束条件。不符合回到第(3)步,重新搜索,直至获取最佳地震受困人员搜索路线为止。

2 实验分析

为验证本文系统的有效性,实验通过 MATLAB 仿真实验检测本文系统的搜救功能,将本文系统、传统地震应急救援队伍派遣及道路重建联合规

划系统[文献[1]方法]、震后应急物流动态选址-联运问题的双层规划系统[文献[2]方法]进行对比实验,测试三种系统搜救某地区地震受困人员过程中耗费的网络吞吐率和路由开销情况。

设置实验地震监控区域为 1 000 m×1 000 m,在这个区域里随机设定 100 个传感器节点终端,实验运行时间为 1 000 s。传感器节点终端的数据无线发射的链路带宽是 1 Mbps,无线广播通信为 2 μs,网络负载是 1 600 bit,所有的控制信息都保持在 300 bit。

实验检测获取三种系统 1 000 s 的吞吐率结果用图 4 描述。

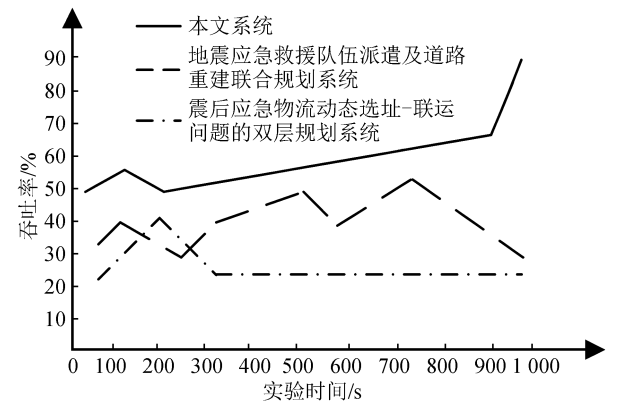


图 4 不同系统网络吞吐率对比

Fig.4 Comparison between network throughput rates of different systems

分析图 4 可知,随着实验时间的提升,地震应急救援队伍派遣及道路重建联合规划系统和震后应急物流动态选址-联运问题的双层规划系统的网络吞吐率随着通信量的增加呈现强烈波动,相对于这两个系统本文系统的波动趋势较为平缓;地震应急救援队伍派遣及道路重建联合规划系统的吞吐率在 750 s 时呈现急剧下降趋势。本文系统的吞吐率最大值为 90%,地震应急救援队伍派遣及道路重建联合规划系统的吞吐率最大值为 50%,震后应急物流动态选址-联运问题的双层规划系统的吞吐率最大值为 41%。由此可见,本文系统的吞吐率较高,可完成对灾区网络数据的有效传输。

三种系统的路由开销情况用图 5 描述。

分析图 5 可知,在相同实验次数中,本文系统的路由开销始终低于其他两种系统,本文系统的最大路由开销率仅占 13%,地震应急救援队伍派遣及道路重建联合规划系统的路由开销率高达 39%,震后

应急物流动态选址-联运问题的双层规划系统的路由开销率高达 30%。本文系统的路由开销最低,有效避免传感器节点无线资源浪费情况的出现,减轻网络路由消耗,提升总体系统的使用周期。

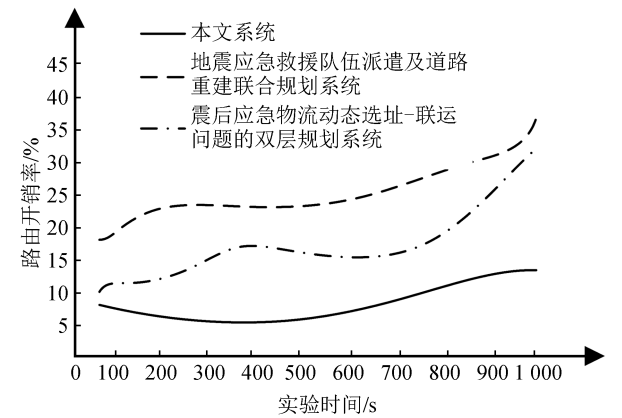


图 5 不同系统路由开销率对比

Fig.5 Comparison between routing overhead rates of different systems

为了进一步分析本文系统的性能优势。统计上述实验中三种系统对 5 个不同地震灾区地点中的不同受灾人数进行搜救的搜救效率和准确率(表 1)。

表 1 三种系统的搜救效率和准确率

Table 1 Rescue efficiency and accuracy of three systems					
系统	地震灾区地点	受困人数 /人	准确率 /%	误差率 /%	耗时 /h
本文系统	1	2	98	2	0.5
	2	3	97	3	0.6
	3	5	97	3	0.7
	4	7	98	2	1.1
	5	8	98	2	1.5
地震应急救援队伍派遣及道路重建联合规划系统	1	2	68	32	1.2
	2	3	65	35	1.3
	3	5	67	33	1.4
	4	7	58	42	1.9
	5	8	58	42	2.4
震后应急物流动态选址-联运问题的双层规划系统	1	2	78	22	0.9
	2	3	71	29	1.1
	3	5	75	25	1.2
	4	7	73	27	1.9
	5	8	69	31	2.3

分析表 1 可知,在搜救该 5 个地震灾区中相同数量的受困人员时,本文系统的搜救准确率均值为 (98%+97%+97%+98%+98%)/5=97.6%,耗时均值为 (0.5 h+0.6 h+0.7 h+1.1 h+1.5 h)/5=0.88 h;地震应急救援队伍派遣及道路重建联合规划系统的搜救准确率均值为 (68%+65%+67%+58%+58%)/5=63.2%,耗时均值为 (1.2 h+1.3 h

+1.4 h+1.9 h+2.4 h)/5=1.64 h;震后应急物流动态选址-联运问题的双层规划系统的搜救准确率均值为(78%+71%+75%+73%+69%)/5=73.2%,耗时均值为(0.9 h+1.1 h+1.2 h+1.9 h+2.3 h)/5=1.48 h。由此可见,本文系统的搜救准确率最高,搜救耗时最短,搜救效率最高。

鲁棒性是描述系统在网络过载等情况下会出现死机崩溃的现象,侧面体现系统的稳定性。统计实验中三种系统的鲁棒性,结果用表 2 来描述。

表 2 三种系统的鲁棒性对比

Table 2 Comparison of robustness of three systems			
地震灾区地点	本文系统/%	地震应急救援队伍派遣及道路重建联合规划系统/%	震后应急物流动态选址-联运问题的双层规划系统/%
1	98	73	69
2	98	76	66
3	99	75	65
4	98	77	67
5	99	75	68
均值	98	75	67

分析表 2 可知,在 5 个相同地点搜救受困人员时,本文系统的鲁棒性的值域为[98,99],地震应急救援队伍派遣及道路重建联合规划系统的鲁棒性的值域为[73,77],震后应急物流动态选址-联运问题的双层规划系统的鲁棒性的值域为[65,69]。本文系统的鲁棒性均值是 98%,远远高于其他两个系统,由此可见本文系统搜救地震受困人员时具有较高的鲁棒性。

3 结论

本文构建基于物联网的地震应急搜救系统实时监测地震灾区的状况并进行受困人员搜救,通过 RFID 识读器和监测防区模块完成地震灾区信息的采集和报警,采用蚁群算法获取受困人员最优应急搜救路线,及时搜救地震受困人员,该算法能够避免资源的浪费,减少系统网络路由的消耗,增长系统的使用周期。

实验数据证明,本文系统能够有效搜救地震受困人员,系统的吞吐率高达 90%,可完成对灾区网络数据的有效传输;系统路由开销率最大仅占 13%,消耗较低;搜救准确率均值高达 97.6%,耗时均值仅为 0.88 h,准确率较高且搜救耗时短,系统的鲁棒性均值是 98%,系统较为稳定,具有较高的使用价值。

鉴于论文篇幅所限,完成时间有限,有关详细的

技术环节在此恕不能做更多详述,有兴趣的读者可与作者联系讨论。作者水平有限,文中遗漏之处及错误难免,恳请阅者给予批评指正。

参考文献(References)

[1] 周荣辅,王涛,王英.地震应急救援队伍派遣及道路重建联合规划模型[J].西南交通大学学报,2017,52(2):303-308.
ZHOU Rongfu, WANG Tao, WANG Ying. United Programming Model for Dispatch of Emergency Rescue Teams and Road Reconstruction under Earthquake Disaster[J].Journal of Southwest Jiaotong University,2017,52(2):303-308.

[2] 郑斌,马祖军,周愉峰.震后应急物流动态选址-联运问题的双层规划模型[J].系统管理学报,2017,26(2):326-337.
ZHENG Binla, MA Zujun, ZHOU YUFENG. Bi-Level Model for Dynamic Location-Transportation Problem for Post-Earthquake Relief Distribution[J].Systems Engineering Theory • Methodology • Applications,2017,26(2):326-337.

[3] 杨天青,杨波,席楠,等.地震应急救援差异性查询平台设计与实现[J].震灾防御技术,2016,11(1):125-131.
YANG Tianqing, YANG Bo, XI Nan, et al. Design and Realization of Earthquake Emergency Rescue Differential Query Platform [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2016,11(1):125-131.

[4] 孙维.基于物联网的感知矿山体系结构与关键技术研究[J].煤炭技术,2015,34(6):250-252.
SUN Wei.Study on Key Technology of Perception Mine Architecture Based on IOT[J].Coal Technology,2015,34(6):250-252.

[5] 王晓青,窦爱霞,丁香,等.地震烈度应急遥感评估研究与应用进展[J].地球信息科学学报,2015,17(12):1536-1544.
WANG Xiaqing, DOU Aixia, DING Xiang, et al. Advance on the RS-based Emergency Seismic Intensity Assessment [J]. Journal of Geo-Information Science,2015,17(12):1536-1544.

[6] 李青元,张洛宜,曹代勇,等.三维地质建模的用途、现状、问题、趋势与建议[J].地质与勘探,2016,52(4):759-767.
LI Qingyuan, ZHANG Luoyi, CAO Daiyong, et al. Usage, Status, Problems, Trends and Suggestions of 3D Geological Modeling[J].Geology and Exploration,2016,52(4):759-767.

[7] BOLLINGER L, SAPKOTA S N, TAPPONNIER P, et al. Estimating the Return Times of Great Himalayan Earthquakes in Eastern Nepal: Evidence from the Patu and Bardibas Strands of the Main Frontal Thrust[J].Journal of Geophysical Research: Solid Earth,2014,119(9):7123-7163.

[8] 刘航.考虑不确定性的地震灾害应急救援设备并行优化设计[J].地震工程学报,2018,40(5):251-256.
LIU Hang.Parallel Optimization Design, Incorporating Uncertainty, of Emergency Rescue Equipment for Earthquake Disasters[J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(5):251-256.

LIANG Xi,LIU Yu.Predicting Model for Construction Engineering Cost Based on Fuzzy Neural Network[J].Technology Economics,2017,36(3):109-113.

[13] 胡晓娟.多元线性回归模型参数的 STLS 估计法及其在工程造价预测中的应用[J].四川建筑科学研究,2016,42(4):142-147.

HU Xiaojuan.Structured Total Least Squares Method for Multivariable Linear Regression Model and Its Application in Engineering Cost Prediction [J]. Sichuan Building Science, 2016,42(4):142-147.

[14] 王刚.差异沉降下多层砖砌体建筑结构抗震加固技术优化[J].科学技术与工程,2018,18(30):194-200.

WANG Gang.Optimization of Seismic Strengthening Technology for Multi-storey Brick Masonry Structure under Differential Settlement[J].Science Technology and Engineering, 2018,18(30):194-200.

[15] 王飞剑,刘如山,马朝晖.窑洞外形特征对结构抗震性能影响研究[J].地震工程学报,2018,40(5):43-51.

WANG Feijian, LIU Rushan, MA Zhaozhui. Effect of Cave Dwelling Shape on the Seismic Performance of Structures[J]. China Earthquake Engineering Journal,2018,40(5):43-51.

(上接第 792 页)

[9] 段志慧,窦远明,王建宁,等.软土地基盾构隧道地震动力响应振动台模型试验研究[J].科学技术与工程,2017,17(2):111-115.

DUAN Zhihui, DOU Yuanming, WANG Jianning, et al. Shaking Table Test for Seismic Responses of Shield Tunnel in Soft Soil Foundation[J].Science Technology and Engineering,2017, 17(2):111-115.

[10] 郭继东,杨月巧.地震应急物资需求预测的模糊案例推理技术[J].中国安全生产科学技术,2017,13(2):176-180.

GUO Jidong, YANG Yueqiao. Study on Fuzzy Case-based Reasoning (FCBR) for Demand Forecast of Emergency Material in Earthquake[J].Journal of Safety Science and Technology,2017,13(2):176-180.

[11] OLIVETO N D,SIVASELVAN M V.Nonlinear Finite Element Analysis of Three-Dimensional Free and Harmonically Forced Vibrations of Stranded Conductor Cables[J].Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2014, 43(14): 2199-2216.

[12] 王东明,刘欢,李永佳.基于砖混结构废墟救援安全评估专家系统研究[J].地震研究,2016,39(4):656-663.

WANG Dongming, LIU Huan, LI Yongjia. Research on Expert System of Ruins Relief Safety Assessment for Brick-concrete Structure[J].Journal of Seismological Research,2016, 39(4):656-663.

[13] 王甜甜,王颖.物联网信息传输数据精确性优化仿真研究[J].计算机仿真,2016,33(10):258-261.

WANG Tiantian, WANG Ying. Internet Information Transmission Data Accuracy Optimization Simulation Research[J]. Computer Simulation,2016,33(10):258-261.

[14] 李强,张景发.道路震害遥感提取方法现状与应急应用展望[J].地震,2017,37(4):80-92.

LI Qiang, ZHANG Jingfa. Extraction Method of Road Seismic Damage from Multi-source Remote Sensing Images and Application Prospect for Earthquake Emergency [J]. Earthquake,2017,37(4):80-92.

[15] SILK A,LENTON G,SAVAGE R,et al.Job Task Characteristics of Australian Emergency Services Volunteers during Search and Rescue Operations[J].Ergonomics,2018,61(2): 265-272.