

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):1118-1123.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1118

LIU Hang.Parallel Optimization Design, Incorporating Uncertainty, of Emergency Rescue Equipment for Earthquake Disasters [J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(5):1111-1117,1130.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1118

考虑不确定性的地震灾害应急救援设备 并行优化设计

刘 航^{1,2}

(1. 郑州航空工业管理学院 管理工程学院, 河南 郑州 450000; 2. 航空经济发展河南省协同创新中心, 河南 郑州 450000)

摘要: 由于地震灾害的不确定性,使得应急救援设备运行速率及使用效率均受到影响,需要进行并行优化处理。对此,提出基于双向并行计算的地震灾害应急救援设备优化方法。以地震灾区灾情等级评估结果为基础,将地震等级及应急救援设备、设备及设备之间的关系进行标准化处理,转化为求解最优解问题;在考虑不确定性的情况下,通过通信时间与救援设备需求进行双向并行处理,优化地震灾害应急救援设备。实验结果表明,采用改进方法进行地震灾害应急救援设备并行优化,能够对地震灾害应急救援设备需求量进行准确预测,提高应急救援设备的运行速率,缩短通信时间,提高应急救援设备的使用效率,具有一定的优势。

关键词: 不确定性; 地震; 灾害; 应急; 救援设备; 并行优化

中图分类号: P315.9; TN927.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)05-1118-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1118

Parallel Optimization Design, Incorporating Uncertainty, of Emergency Rescue Equipment for Earthquake Disasters

LIU Hang^{1,2}

(1. School of Management Engineering, Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou 450000, Henan, China;

2. Collaborative Innovation Center for Aviation Economy Development, Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: Due to the uncertainty of earthquake disasters, the operating rate and efficiency of emergency rescue equipment are affected. Therefore, it is necessary to carry out parallel optimization processing. In this paper, a design optimization method for earthquake disaster emergency rescue equipment, based on two-way parallel computing, is proposed. Based on an evaluation of disaster levels in earthquake disaster areas, the relationship between earthquake magnitude and emergency rescue equipment were standardized and transformed into the problem of solving the optimal solution. Accounting for uncertainty in earthquake disaster scenes, the emergency rescue equipment for earthquake disaster was optimized by two-way parallel processing between communication time and rescue equipment requirements. The experimental results showed that the im-

收稿日期: 2017-08-20

基金项目: 2018 年度河南省科技攻关项目(182102210442); 2017 年度“航空经济发展河南省协同创新中心”开放式基金项目(K2017-2-4); 2017 年度郑州航空工业管理学院青年骨干教师项目(201706)

作者简介: 刘 航(1980-),女,山东菏泽人,硕士,副教授,主要研究方向:产品工程、创新管理。E-mail:liuhang@zua.edu.cn

proved method can be used to accurately predict the demand of emergency rescue equipment for earthquake disasters, improve the running rate of emergency rescue equipment, shorten the communication time, and improve the efficiency of use of emergency rescue equipment.

Keywords: uncertainty; earthquake; disaster; emergency; rescue equipment; parallel optimization

0 引言

地震灾害是指地面受破坏性强烈的震动波影响而引起的断裂与变形现象。地面变形引起了建筑物及工程设备的损坏和这些建筑物倒塌带来的次生灾害^[1-2],给震后应急救援、灾民安置及灾后重建带来了极大困难,同时对救援设备提出了更高的要求。由于造成地震的因素较多,不确定性较大^[3],地震灾害应急救援设备如何在交通中断、桥梁损坏、房屋倒塌以及外来救援物资无法进入灾区的情况下,根据地震等级、灾情和准确的需求预测将救援设备及时、迅速地送至灾区,成为了地震灾害应急救援设备优化的重要目标^[4],同时也受到了广大学者及研究家的关注,产生了很多好的方法。

文献[5]提出基于对突发事件种类及应急救援资源需求分析的应急救援设备优化方法,在将应急救援结束时间降到最小以及建立双目标优化模型的基础上设计以应急救援结束时间优先的两阶段启发式算法,优化地震灾害应急救援设备,但该方法存在优化时间长、优化成功率不定的问题。文献[6]所用方法在考虑目标谱不确定性的基础上,通过生成随机模拟谱来匹配目标谱多元对数正态分布特征,并采用反应谱形参数优化了地震设备,该方法能够有效匹配目标均值、标准差,但对地震危险性程度不能准确选取及匹配,误差较大。

针对上述问题,本文提出基于双向并行计算的地震灾害应急救援设备优化方法。该方法以地震灾区灾情等级评估结果为基础,将地震等级及应急救援设备、设备及设备之间的关系进行标准化处理,以此转化为求解最优解问题;在考虑不确定性的情况下,通过通信时间与救援设备需求为标准进行双向并行处理,从而达到优化地震灾害应急救援设备的目的。

1 地震灾区灾情等级评估分析

由于地震的不确定性,使得地震灾区灾情不定,需要对其进行等级评定。通过灾情等级评估,将地震等级及应急救援设备^[7]、设备及设备之间的关系进行标准化处理,转化为求解最优解问题。具体步骤如下所示:

(1) 选取受灾点分类的评价指标。选择的评价指标应能够明显反映受灾点的受灾程度。受灾点分类过程中,房屋倒塌会造成灾区人员伤亡^[8]。这也是干扰应急救援设备运行的直接因素,一般会作为对受灾程度进行衡量的重要指标。

假设 u_{kj} 为受灾点 D_k 的第 j 个指标,则受灾点 D_k 的受灾程度可表示为:

$$U_k = [u_{k1}, u_{k2}, u_{k3}]^T \quad (1)$$

式中: u_{k1} 是受灾点 D_k 的死亡人口数量; u_{k2} 为受灾点 D_k 的受伤人口数量; u_{k3} 为房屋倒塌率。 u_{k1} 的值越大,表示死亡的人口就越多,该地的受灾情况就越严重,与其所对应的救援设备需求量越大也越迫切,反之 u_{k1} 的值越小则表示受灾程度越轻,死亡的人口也比较少。 u_{k2} 的值越大受伤的人口数量就越多,受灾程度也越严重,表示越需要应急设备来救援,反之 u_{k2} 的值越小表示在灾难中受伤的人口越少,受灾也越轻。

(2) 确定原始救援数据。待分类的地震灾区受灾点 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ 均由一组数据 u_{k1}, u_{k2}, u_{k3} 进行评价,得到一个 $K \times 3$ 阶的原始数据矩阵:

$$(u_{kj})_{n \times 3} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & u_{n3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

(3) 构建灾情属性矩阵。根据地震灾害案例库 n 个地震案例及其灾情属性,构建灾情属性矩阵^[9-10],地震案例用 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 表示,目标案例用 T 表示,每个案例都有 m 个指标,指标影响权重集为 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m\}$,则构建灾情属性矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

(4) 使原始数据变得更加标准。在对原始数据进行标准化处理的过程中,地震灾区受灾点死亡人数、受伤人数和房屋倒塌率指标之间具有不同的衡量标准^[11],将数据进行适当的标准化就需要将数据的取值范围固定在 $[0, 1]$ 上,利用标准差法对地震

灾情数据进行标准化处理:

$$u'_{kj} = \frac{u_{kj} - \bar{u}_j}{r_{ij}} \quad (k=1,2,\dots,n; i=1,2; j=1,2) \quad (4)$$

式中: $\bar{u}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n u_{kj}$; r_{ij} 确定的方法有马氏距离、方差加权距离、欧式距离等,这里所采用的是欧式距离法,公式如下:

$$r_{ij} = 1 - cd_{ij}, d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}|^2} \quad (5)$$

式中: c 为使 $r_{ij} \in [0,1]$ 成立的正数。

(5) 应急救援设备需求量标准化。运用 SPSS 统计软件中的多元线性回归分析应急救援设备的需求量与其指标 m 的关系,得到应急救援设备标准化方程:

$$Y = \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_m \cdot X_m \quad (6)$$

式中:系数 $\beta_j (j=1,2,\dots,m)$ 绝对值越大,则表示这个指标与应急物资需求量的关系越密切,同时它也是影响地震灾害应急物资需求量的关键指标。

假设指标 m 拥有多个子目标函数,其中至少有一个目标函数是关键目标,剩余的 $m-1$ 个子目标函数则具有相似的重要程度^[12]。此时可以在 R 上求 $f_1(x)$ 的最优解,然后在 $f_1(x)$ 的最优解集上求解由其余 $m-1$ 子目标函数构成多个目标优化问题的有效解,此有效解可作为地震灾情与救援设备需求的多目标问题最优解,并记最优解集为 R_1 ,则:

$$R_1 = \{x \in R | f_1(x) = f_1^*\} \quad (7)$$

在对地震灾情进行分析的基础上,可根据灾情情况将应急救援设备需求量的多目标问题转化为求解最优解,为应急救援设备的并行优化提供基础依据。

2 地震灾害应急救援设备并行优化分析

在获取地震灾害应急救援设备最优解的基础上,根据地震灾情等级以通信时间与救援设备需求为并行优化目标,对应急救援设备进行平行优化处理。

2.1 通信时间

在地震灾害应急救援设备并行优化时,信息数量、大小、底层互连结构和所使用的传递模式和通信时间具有直接关联,如何在短时间内将灾情信息传达出去,救援设备又如何能在短时间到位且快速运行,直接受到通信时间的影响^[13]。每个消息的通信时间与许多因素有关,包括网络结构、网络竞争及救援

设备运行能力。应急救援设备通信时间使用以下公式表示:

$$t_{\text{comm1}} = t_{\text{startup}} + \omega t_{\text{data}} \quad (8)$$

其中: t_{startup} 为接受消息后应急救援设备启动时间,有时也称为消息时延,实际上它是传输不包括灾情消息时所用时间,包含在源程序上把灾情信息压缩和在目的程序处把信息解压所用时间; t_{data} 是传送单个灾情信息所需时间,是一个常数; ω 为传输灾情信息的个数,两者关系如图 1 所示。

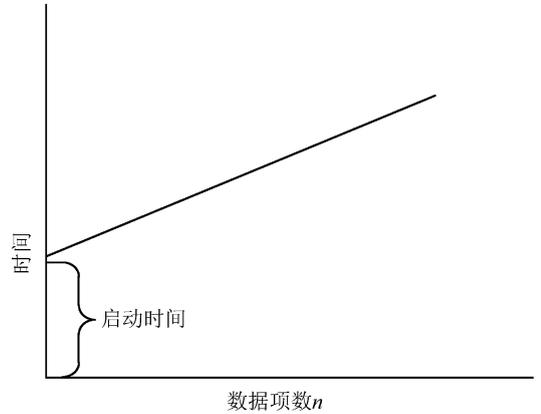


图 1 实际通信时间分析

Fig.1 Actual communication time analysis

在实际的地震灾害应急救援设备并行优化中,不可能获得如此完整的线性关联,众多因素会干扰通信时间,包含对通信介质的使用。式(8)忽略了在实际优化中存在的事实,即源数据与目的数据会不直接连接,导致灾情消息传递一定通过中间节点^[14]。最后的通信时间 t_{comm} 将是一个救援设备优化的全部顺序消息通信时间的累加和,表达式为:

$$t_{\text{comm}} = t_{\text{comm1}} + t_{\text{comm2}} + t_{\text{comm3}} + \dots \quad (9)$$

其中: t_{comm1} 、 t_{comm2} 、 t_{comm3} ... 是各灾情信息传输到应急救援设备间的通信时间。由于启动时间 t_{startup} 和数据传输时间 t_{data} 均以计算步数单位衡量,所以把 t_{comm} 和 t_{comp} 加起来获得并行优化执行所需时间 t_p :

$$t_p = t_{\text{comm}} + t_{\text{comp}} \quad (10)$$

2.2 地震应急救援设备需求预测模型的构建

在地震发生后,对于地震应急救援设备的需求具备一定的相似性。以地震为原始数据样本构建样本库,依据目标地震的真实情形构建灰色关联模型,然后对地震灾害地震应急救援设备需求进行预测^[15],以期能够更加高效、科学地开展救援工作。

地震的破坏性较大,很多因素都会对地震应急救援设备需求形成干扰。为高效优化地震灾害应急救援设备,提取 K 个描述样本的参数,则救援设备

属性集合为:

$$Y = \{\omega_i \mid i \in I = \{1, 2, \dots, K\}\} \quad (11)$$

其中: $\omega_i = \{\omega_i(k) \mid k \in \{1, 2, \dots, M\}\}$ 。

灰色关联模型辨别序列是以其曲线几何状况类似水平为依据来判断其关联是否密切,序列曲线几何状况越相似其变化趋势也越相似,相应的序列之间的关联度也越大,应急救援设备并行优化效果更好;反之则关联度越小,应急救援设备并行优化效果差。因此可以把曲线间差值的大小作为其关联程度的标尺,即地震灾害应急救援设备并行优化的关键,进而定义关联系数的数值计算公式。并行优化的关联系数差值 Δ 集可表示为:

$$\Delta = \{\Delta_{i0} \mid \Delta_{i0}(1), \Delta_{i0}(2), \dots, \Delta_{i0}(N)\}, i = 1, 2, \dots, M \quad (12)$$

其中: $\Delta_{i0}(k) = |\omega_0(k) - \omega_i(k)|$ 。

灰关联系数:

$$\gamma_{i0}(k) = \gamma[\omega_0(k), \omega_i(k)] = \frac{\min_{i \neq 0} \min_k \Delta_{i0}(k) + \zeta \max_{i \neq 0} \max_k \Delta_{i0}(k)}{\Delta_{i0}(k) + \zeta \max_{i \neq 0} \max_k \Delta_{i0}(k)} \quad (13)$$

其中: $\gamma[\omega_n(k), \omega_n(k)] = 1$ 。

灰关联度:

$$\gamma(Y_0, Y_i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \gamma[\omega_0(k), \omega_i(k)] \quad (14)$$

在灰关联度确定以后,就可以以原始样本数据的规律来对地震灾害应急救援设备需求进行预测。假设受灾面积是 S , 建筑物倒塌面积为 S_1 , 目标地震样本的受灾面积是 S_0 , 地震灾害应急救援设备单位时间的作业能力为 P , 则 $M(t)$ 为 t 时间内地震灾害应急救援设备需求数量预测结果, 可表示为:

$$M(t) = \frac{S_1}{S} \cdot S_0 \cdot \frac{1}{p \cdot t} \quad (15)$$

则地震灾害应急救援设备并行优化结果可表示为:

$$Q^T = \frac{X^T \cdot Q^*}{X^*} \quad (16)$$

式中: Q^T 和 Q^* 分别指目标案例与相似案例的应急救援设备需求量; 而 X^T 和 X^* 分别指目标应急救援设备和相似应急救援设备并行优化的关键指标数值。

2.3 地震灾害应急救援设备并行优化流程

根据不同的应急救援设备需求量的受灾因素与受灾程度, 针对其运用比较准确的预测方法, 所用模型是基于粗糙集的模糊范例推理, 具体的并行优化流程如图 2 所示。

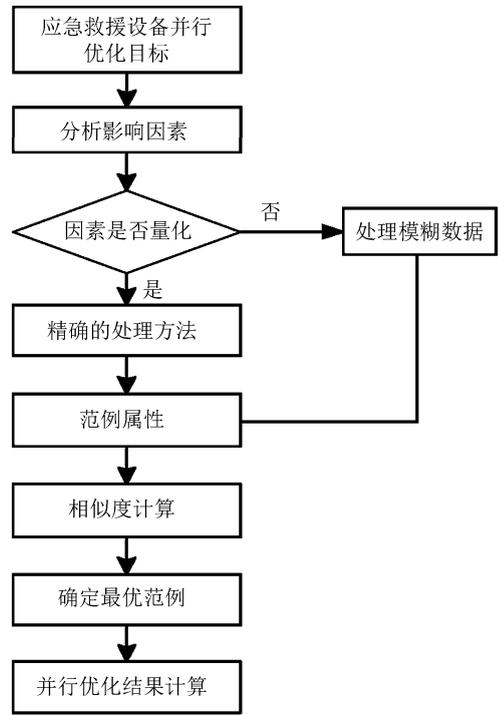


图 2 应急物资需求量预测流程

Fig.2 Forecast process of emergency material demand

根据图 2 可知, 为了能够实现应急救援设备的并行优化, 首先需要明确优化目标, 针对目标分析其影响因素。如果因素能够进行量化的话, 根据精确方法进行处理, 通过模糊范例中的粗糙集权重值结合范例属性进行相似度计算, 确定最优范例, 实现并行优化结果的计算; 如果不能进行量化, 需要先对相关数据进行模糊处理, 再通过范例属性进行相似度计算。

3 实验结果分析

3.1 实验参数设置

实验设置过程中, 本文使用 MATLAB 软件进行仿真实验, CPU、GPU 及软件环境等参数如表 1 所列。选择我国曾发生过 7 级地震的某地为实验对象, 将地震波动强度、震源位置等信息输入至实验平台之中。实验主要采用无线通信数据, 设备之间使用星型网络拓扑, 以中央节点为中心, 其他的人网节点仅与中心点之间有直接的物理链路。应急救援设备主要包括声波探测仪、红外线生命侦测器、现场医疗应急救援系统、液压撑顶器、野战医疗方舱等。

3.2 实验结果分析

为了验证改进方法在地震灾害应急救援设备并行优化所需的时间方面具有一定的优势, 以通信时

间为指标,采用改进方法和传统方法进行对比,测量地震灾害应急救援设备并行优化所需时间。对比结果如图3所示。

表1 实验平台参数

名称	参数	
	型号	Intel Xeon E5-2609
CPU	主频	2.4 GHz
	核心数	2 处理器共 8 核心
	内存大小	32 GB
	型号	Tesla C2075
GPU	核心频率	1.15 GHz
	核心数量	448
	双精度浮点性能	515Gflops
	单精度浮点性能	1.03Tflops
	可用显存	5.25 GB
	计算能力	2.0
	操作系统	64 位 Win7 专业版
软件环境	开发工具	Visual Studio 2015
	运行平台	MATLAB

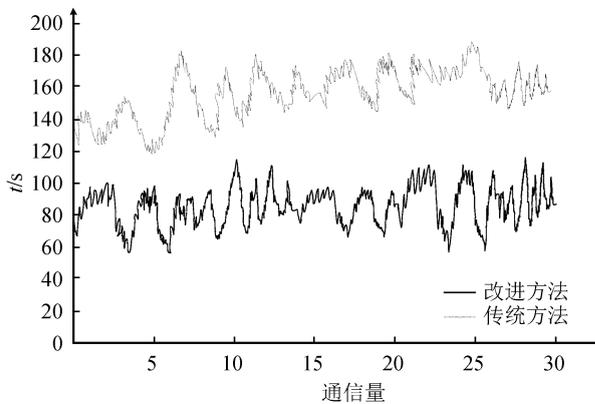


图3 应急救援设备并行优化所需时间对比结果

Fig.3 Comparison of time required for parallel optimization of emergency rescue equipment

由图3可知,在通信量不定的情况下,采用传统方法进行应急救援设备并行优化时,其通信时间随通信量的增加逐渐增加,最高达到了179 s;采用改进方法时,其通信时间未大幅度受到通信信息量的影响,最高时只有84 s,相比传统方法缩短了约95 s。这主要是由于事先对地震灾害等级进行了评估,达到缩短应急救援设备运行的目的。

为了验证本文方法可对地震应急救援设备需求进行准确预测,并实现应急救援设备并行优化,将本文方法与传统方法、实际需求进行对比实验,实验结果如表2所列。

根据表2能够看出,传统方法不能对灾区的应急救援设备需求进行较为准确的预测,容易影响后期救援。而本文的改进方法却能够根据相关信息准

确预测出灾区应急救援设备的需求情况,误差较小,最终能够实现实现应急救援设备的并行优化。

表2 应急救援设备需求预测对比结果

应急救援设备	实际情况	本文方法	传统方法
声波探测仪/个	20	20	14
红外线生命侦测器/个	20	20	12
现场医疗应急救援系统/个	10	10	7
液压撑顶器/个	30	29	21
野战医疗方舱/个	15	15	10

4 结论

由于地震灾害的不确定性,使得应急救援设备运行速率及使用效率均受到影响,需要进行并行优化处理,对此,提出基于双向并行计算的地震灾害应急救援设备优化方法。研究表明:

- (1) 采用改进方法进行地震灾害应急救援设备并行优化,能够对灾区应急救援设备需求量进行准确预测,提高应急救援设备的运行速率;
- (2) 该方法可缩短通信时间,提高应急救援设备的使用效率,具有一定的优势。

参考文献(References)

- [1] 刘舒悦,朱建明,黄钧,等.地震救援中基于信息实时更新的两阶段应急物资调配模型[J].中国管理科学,2016,24(9):124-132.
LIU Shuyue,ZHU Jianming,HUANG Jun,et al.A Two-stage Operation Model for Emergency Management Based on Information Dynamic Updating in Earthquake Rescue[J].Chinese Journal of Management Science,2016,24(9):124-132.
- [2] 王晓磊,吕大刚.考虑知识不确定性的核电站地震易损性概率模型研究[J].原子能科学技术,2017,51(1):139-144.
WANG Xiaolei,LÜ Dagang.Study on Seismic Fragility Probability Model of Nuclear Power Plant Considering Epistemic Uncertainty[J].Atomic Energy Science and Technology,2017,51(1):139-144.
- [3] 杨东华,李宁宁,王宏志,等.基于任务合并的并行大数据清洗过程优化[J].计算机学报,2016,39(1):97-108.
YANG Donghua,LI Ningning,WANG Hongzhi,et al.The Optimization of the Big Data Cleaning Based on Task Merging[J].Chinese Journal of Computers,2016,39(1):97-108.
- [4] 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.
- [5] 田志强,宋琦,潘金山,等.铁路突发事件应急救援设备调度优

- 化研究[J].铁道科学与工程学报,2015(1):171-176.
- TIAN Zhiqiang, SONG Yi, PAN Jinshan, et al. Optimization Analysis of Equipment Dispatching under Railway Emergency Event[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2015(1):171-176.
- [6] 陈波,温增平.考虑目标谱不确定性及谱形的实际地震动记录优化选取和调整方法[J].建筑结构学报,2015,36(11):99-108.
- CHEN Bo, WEN Zengping. Optimized Real Ground Motion Selection and Scaling Method Considering Uncertainty and Spectral Shape of Target Spectrum[J]. Journal of Building Structures, 2015, 36(11):99-108.
- [7] 杨涛,张利荣.武警水电部队加强抢险救援能力建设思考[J].水利水电技术,2016,47(增刊1):107-110.
- YANG Tao, ZHANG Lirong. Thinking on Strengthening the Capacity Construction of Emergency Rescue and Rescue in the Armed Police Hydropower Units[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(Suppl):107-110.
- [8] 徐敬海,安基文,聂高众.基于千米格网的地震应急灾情预评估数据开发[J].地震地质,2016,38(3):760-772.
- XU Jinghai, AN Jiwen, NIE Gaozhong. Development of Earthquake Emergency Disaster Information Pre-evaluation Data Based on km Grid[J]. Seismology and Geology, 2016, 38(3):760-772.
- [9] 卜若,徐敬海,聂高众.动态地震应急处置方案系统设计与实现[J].世界地震工程,2017,33(1):27-33.
- BU Ruo, XU Jinghai, NIE Gaozhong. Design and Implementation of Dynamic Earthquake Emergency Disposal Scheme System[J]. World Earthquake Engineering, 2017, 33(1):27-33.
- [10] 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.
- [11] 李世雄,朱华桂.基于受灾者关键期自救的应急救援物资结构研究——以地震灾害为例[J].震灾防御技术,2016,11(1):153-164.
- LI Shixiong, ZHU Huagui. Structure of Emergency Relief Supplies in Critical Period for the Victims' Self-help[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2016, 11(1):153-164.
- [12] 王永奇,张国富,苏兆品,等.基于二维免疫的应急救援物资并行分配算法[J].计算机工程与应用,2017(10):230-240.
- WANG Yongqi, ZHANG Guofu, SU Zhaopin, et al. Algorithm for Parallel Distribution of Emergency Relief Supplies Based on Two-dimensional Immunity[J]. Computer Engineering and Applications, 2017(10):230-240.
- [13] 吴帮,申波,马克俭,等.U形钢板-混凝土组合空腹夹层板在多遇地震作用下的抗震性能分析[J].贵州大学学报(自然科学版),2016,33(2):117-122.
- WU Bang, SHEN Bo, MA Kejian, et al. Analysis on Seismic Behavior of U-shaped Steel Plate-Concrete Composite Openweb Sandwich Slab Structure under the Frequent Seismic Action[J]. Journal of Guizhou University (Natural Science), 2016, 33(2):117-122.
- [14] 吕亚飞,于振华,张致江,等.基于多GPU的并行BP算法及优化[J].小型微型计算机系统,2016,37(4):748-752.
- LÜ Yafei, YU Zhenhua, ZHANG Zhijiang, et al. Parallel BP Algorithm and Optimization Based on Multiple GPU[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2016, 37(4):748-752.
- [15] 杨海涛,张传斌,阮镇江,等.大规模云同步归集数据系统的异步并行优化[J].计算机工程与应用,2017,53(2):88-97.
- YANG Haitao, ZHANG Chuanbin, RUAN Zhenjiang, et al. Asynchronous Parallel Optimization of Large-Scale Cloud Sync-collection Data Systems[J]. Computer Engineering and Applications, 2017, 53(2):88-97.