王佳,王菁.基于遗传算法的震后交通无线通信系统应急信号优化调度方案[J].地震工程学报,2019,41(4):1092-1097.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1092

WANG Jia,WANG Jing.An Optimal Scheduling Method of Emergency Signal in Post-earthquake Traffic Wireless Communication System Based on Genetic Algorithm[J].China Earthquake Engineering Journal,2019,41(4):1092-1097.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1092

基于遗传算法的震后交通无线通信系统应急信号优化调度方案

王 佳[1],王 菁[2]

(1. 包头铁道职业技术学院 铁道通信信号系,内蒙古 包头 014000;
2. 长春师范大学工程学院,吉林 长春 130032)

摘要: 针对传统的应急信号优化调度方法存在执行任务时间较长、可靠度较低等问题,提出一种基于遗传算法的强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法。分别对强震后交通无线通信系统不同子节点的通信占用时间进行分割,通过判断任务调度表能否更新,构建以遗传算法的应急信号调度模型;结合模型的相关特点,引用遗传算法对应急信号调度模型进行求解,获取最优应急信号优化调度方案。仿真实验证明,所提方法对任务调度时间缩短方面进行了改善,对于应急信号调度可靠性也进行了调整。

关键词: 强震后;交通无线通信系统;应急信号;优化调度方法

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0844(2019)04-1092-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1092

An Optimal Scheduling Method of Emergency Signal in Post-earthquake Traffic Wireless Communication System Based on Genetic Algorithm

WANG Jia[1],WANG Jing[2]

(*1.Department of Railway Communication Signal, Baotou Railway Vocational and Technical College, Baotou 014000, Inner Mongolia, China;*
2. School of Engineering, Changchun Normal University, Changchun 130032, Jilin, China)

Abstract: To solve the problems in the traditional emergency signal optimization scheduling method, such as the long task time and low reliability, a genetic algorithm-based emergency signal optimization scheduling method for traffic wireless communication system after a strong earthquake is proposed. The communication occupation time of different sub-nodes of a traffic wireless communication system after a strong earthquake is segmented, and an emergency signal scheduling model based on the genetic algorithm is constructed by judging whether the task scheduling table can be updated. According to the related characteristics of the model, the genetic algorithm is used to solve the emergency signal scheduling model, and the optimal emergency sig-

收稿日期: 2018-10-19

基金项目: 国家"863"计划基金资助项目:强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法(2018AA01Z428)

第一作者简介: 王 佳(1987-),女(回族),内蒙古包头人,硕士研究生,讲师,主要研究方向:交通通信及信息控制。
E-mail:nmbtwj@163.com。

nal scheduling scheme is obtained. The simulation results show that the proposed method can shorten the task scheduling time and adjust the reliability of emergency signal scheduling.

Keywords: post-earthquake; traffic wireless communication system; emergency signal; optimal scheduling method

0　引言

传统应急指挥车在灾害事故发生的第一时间无法及时到达现场，且存在指挥车成本较高、普通单位无法配备等缺点。以广泛普及的扩音系统以及无线对讲机为研究基础，引用现代电子技术以及微机控制技术，构建新的无线通信系统[1]。该系统的成本较低，操作简单方便，符合当前的发展需要。我国处于地震多发地区，汶川发生的 8 级大地震造成了严重的经济损失。针对当前的科技水平，地震的预报准确性还没有达到成熟。地震是一种破坏性极强的突发性自然灾害。地震的发生严重影响了人们的正常生活以及社会的发展。地震发生后会造成通信中断，使灾区无法及时与外界通信[2]。对于地震造成的巨大灾害，如何将损失降到最低，是当前人们亟待解决的问题。在真正的救援过程中，如何利用最短的时间与外界取得联系，是最重要的任务之一。通过通信工具或者网络[3]是最为便捷的沟通方式，但在地震发生后，它们也会受到严重的破坏，灾区震后通讯是整个救援的关键所在。

目前，已有部分学者得出较好的研究成果，例如文献[4]提出一种基于风险感知的应急信号优化调度方法，充分分析风险感知的有限理性，利用相关理论对其行为进行描述，并给出强震后交通无线通信系统的供应率。引用模糊理论描述当前交通无线通信系统应急信号的分布情况，构建相应的应急信号优化调度模型，获取最优调度方案，但是该方法的任务执行时间还有改进的空间。文献[5]提出一种基于人工蜂群算法的应急信号优化调度方法。将受灾地点的损失评价函数由线性扩充到非线性，构建多目标调度模型，引用人工蜂群算法对上述模型进行求解，获取最优调度方案，但是上述方法应急信号调度的可靠性方面还有进步的空间。

为了对应急信号优化调度问题能够给予一定的改善，本文提出了基于遗传算法的强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法。

1　交通无线通信系统应急信号优化调度方法

1.1　基于遗传算法的应急信号调度模型

遗传算法是一类借鉴生物界的进化规律演化而来的随机化搜索方法，可以直接对结构对象进行全局寻优，并且可以自适应调整搜寻的方向，具有更好的自适应性，对信号的搜索效率更高。基于遗传算法的应急信号调度过程如图 1 所示。

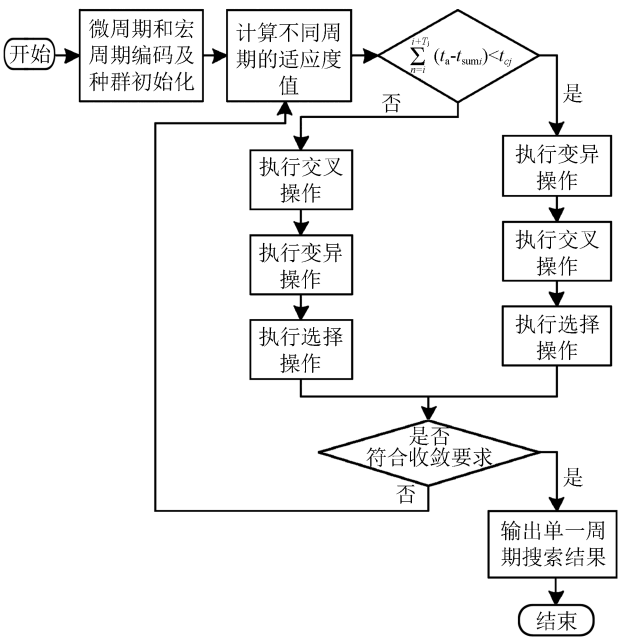


图 1　基于遗传算法的应急信号调度流程图

Fig.1　Flow chart of emergency signal scheduling based on genetic algorithm

实时调度表中常用的参数分别是微周期和宏周期，它们的最大值和最小值可以通过节点周期来确定。

结合遗传算法，根据其原理图进行初始化，则单一周期的平均总线占用时间为：

$$t_a=\sum_{j=1}^{N}t_{cj}/N \tag{1}$$

式中：N 代表子节点的总数；t_{cj} 代表在第 j 次数据产生所用时间总和。通过上式判断该节点是否为最终节点，如果是，系统将会查询剩余周期内时间最多的周期。并且要判定节点 j 上是否存在新的数据。以下给出所对应的判断式：

$$\sum_{n=i}^{i+T_j}(t_a-t_{\mathrm{sum}i})<t_{cj} \tag{2}$$

式中：i 代表第 i 个微周期；j 代表交通无线通信系统第 j 个需要进行调度的子节点；$t_{\mathrm{sum}i}$ 代表第 i 个周期

内已经被使用的总时间；T_j 代表第 j 个节点的信号周期，也就是每过 T_j 时间段，都产生新的数据进行传输。

假设式(2)成立，则代表在微周期内数据处理时间较少。针对交通无线通信系统的总线占用时间进行填充，直至填满为止。如果时间还是不够，则说明数据量过大，无法形成新的任务调度表[6]。

以下给出分配系统内总线时间相应的计算式：

$$(t_a - t_{\mathrm{sum}_i}) < t_{cj} \tag{3}$$

当总线占用时间小于微周期内的剩余时间时，则有：

$$t_{cj} > (t_a - t_{\mathrm{sum}_i}) > 0 \tag{4}$$

通过式(4)能够得到 j 总线占用时间只能部分插入 i 内。并且 j 的总线占用时间被划分成了两个部分[7]，其中一部分为$(t_a - t_{\mathrm{sum}_i})$，另外一部分为 $t_{cj} - (t_a - t_{\mathrm{sum}_i})$。

利用基于遗传算法的抢占式服务能够得到应急信号可调度公式：

$$\sum_{j=1}^{N}(t_{cj}/T_j) < N * (2^{\frac{1}{N}} - 1) \tag{5}$$

而应急信号可调度公式需要满足的条件：

$$x \in N \times (2^{\frac{1}{N}} - 1) \tag{6}$$

式中：x 代表能够调用时间的上限，也就是能够增大算法的可调度范围。但是由于应急信号存在周期性变化，可将改进算法的可调性上界表示为：

$$N * (2^{\frac{1}{N}} - 1) < x < 1 \tag{7}$$

经过改进后的应急信号可调度公式为：

$$\sum_{j=1}^{N}(t_{cj}/T_j) < x \tag{8}$$

在上述基础上，构建应急信号周期性调度模型为：

$$v = Sm_1, Sm_2, \cdots, Sm_j \tag{9}$$

$$Sm_j = (t_{cj}, T_j, T_{Dj}) \tag{10}$$

式中：v 代表宏周期，Sm_j 代表在交通无线通信系统的第 j 个节点；T_{Dj} 代表应急信号的时间限制。在正常的状态下，应急信号周期取值为 $T_j = T_{Dj}$，即为信号周期。

假设 t_{V_i} 代表系统在 i 个周期内节点分配的总线占用时间[8-9]。针对任意的调度表，给出应急信号调度模型：

$$t_{cj} \leqslant \sum_{i=T_j}^{T_{j+1}} tU_i \tag{11}$$

式中：$j = 1, 2, \cdots, N$，$T_j = 1, 2, \cdots, d$，d 代表节点在宏周期内的信号周期数。

1.2 基于遗传算法的应急信号调度模型求解

以 1.1 小节为基础，获取最大信息量，将调度目标的优先级以及携带的信息量进行加权处理设定为调度收益，引用遗传算法对应急信号调度模型进行求解，得到最优调度方案。具体的研究过程如下：

应急信号在观测的过程中，通过遗传算法，将调度目标的优先级置顶，并且它们携带的信息也能够通过评估取得。同时对某一区域的信号特点进行分析确定不同应急观测信号的优先级，并分别记录不同应急信号携带的信息量。

以下给出具体的求解流程：

(1) 获取最优调度方案的解集：

$$Q = \{Q_1, Q_2, \cdots, Q_M\} \tag{12}$$

(2) 设定随机产生大小为 N 的初始化种群 Q_0，迭代次数为 g，时间为 t，分别计算不同个体函数适应值集合，则有：

$$f = \{f_1, f_2, \cdots, f_n\} \tag{13}$$

(3) 判断时间是否大于检测周期的整倍数。如果 $t \geqslant g/f$，则进行调度环境变化过程检测；反之，则进入下一步。

(4) 进行遗传算法的交叉、变异等操作，生成新的种群，任务完成后，返回步骤(2)。

设定 p 为调度目标的优先级，I 为携带的信息量，分别用 α、β 代表上述两者的加权次数，则两者经过加权以后的表达式为：

$$f(n_\varepsilon, t) = \alpha \times P + \beta \times I \tag{14}$$

式中：将 P 和 I 的取值进行归一化处理，得到 α、β 取值样本的统计值。

对应急信号进行调度时，以不同时刻的目标评价函数值进行调度环境变化检测，则有：

$$e(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \frac{f_i(x,t) - f_i(x,t-1)}{R(t) - U(t)}}{n_i} \tag{15}$$

$$R(t) = \max(f_1(x,t), f_2(x,t), \cdots, f_{ni}(x,t)) \tag{16}$$

$$U(t) = \min(f_1(x,t), f_2(x,t), \cdots, f_{ni}(x,t)) \tag{17}$$

式中：n_i 代表种群中用来检测调度环境变化的目标个体的数量；$f_i(x,t)$ 代表在 t 时刻第 i 个参加检测的个体评价函数的最大值和最小值。设定阈值 σ，

其取值为全部调度目标个体评价函数值的均值和敏感系数 θ 的乘积，即：

$$\sigma=\frac{\sum_{k=1}^{ni} f(x_k,t)}{n}\times\theta \tag{18}$$

假设 $e(t)>\sigma$，则代表调度环境的变化会对最优解产生较大的影响，需要采用调度方法对搜索方向进行调整；相反，则不需要进行调整。其中，θ 代表样本选择概率。

在应急信号调度过程中，首先需要计算所有时间窗口的长度，将所有窗口的平均长度与先验概率的系数 η 的乘机作为调度环境变换的频率。η 的取值主要跟调度环境变化速率有关，调度环境变化越快，则 η 的取值越小。

如果设定 f 为调度环境检测频率，则有：

$$f=\frac{1}{N\times\sum_{k=1}^{N} w_k}\times\eta \tag{19}$$

则整个通信系统中的窗口集合为：

$$w_k=\{w_1,w_2,\cdots,w_N\} \tag{20}$$

式中：N 代表全部时间窗口的数量。

引用遗传算法，在二次映射编码的基础上，该算法通过随机产生初始种群，对试验向量和目标向量进行提取，通过交叉、变异等遗传操作后比较得到最新的个体。不断重复操作，经过多次计算后得到最优解。该方法引入的动态调度机制是在传统方法的基础上进行了改进。当最优解受到调度环境影响较大时，在传统方法的基础上，QMDSDE 方法增加了前向预测调整过程[10]。设定 Q_t 表示当代种群，X_i 表示当代种群中的个体，X_{t-1} 表示上一代种群，Q_t 表示欧式距离最短的个体，Q_{t+1} 表示两个个体结合产生下一代种群，X_{t+1} 表示预测个体，则有：

经过无数次计算后，能够得到最优解。该方法在传统方法的基础上，引入了动态调度机制以及前向预测调整过程。假设 X_i 为当代种群 Q_t 中的个体，X_{t-1} 是上一代种群和 Q_t 欧式距离最短的个体，两个个体结合会产生下一代种群 Q_{t+1} 中的预测个体 X_{t+1}，则有：

$$X_{t+1}=X_t+(X_t-X_{t-1}) \tag{21}$$

其中：

$$X_{t-1}=\arg\min_{X\in Q_{t-1}}(X_t-X) \tag{22}$$

假设采用实数编码，应急信号调度模型进行求解，则有：

$$O=\{o_1,o_2,\cdots,o_m\} \tag{23}$$

$$S=\{s_1,s_2,\cdots,s_n\} \tag{24}$$

$$G=\{g_1,g_2,\cdots,g_k\} \tag{25}$$

2　实验结果与分析

为了验证所提基于遗传算法强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法的有效性，需要进行仿真实验。实验环境为：Window7 操作系统，Intel(R)Core(TM)i3-2350M 处理器，8 G 内存，开发环境为 Visual Studio2010。

假设交通无线应急通信系统中需要进行调度的应急信号为 400 个，将其随机分配给 10～100 个节点执行，分别采用所提方法、基于风险感知的强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法、基于人工蜂群算法的强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法进行实验对比，对比不同方法的应急信号优化调度用时(min)：

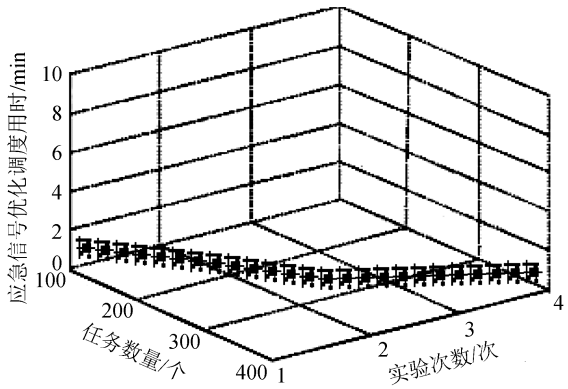
分析图 2 可知，与基于风险感知的强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法、基于人工蜂群算法的强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法相比，经过改进之后的调度方法任务调度完成时间更短，由于遗传算法最优搜索能力的优势，缩短了应急信号调度模型求解的用时，任务调度完成时间更短，但在任务数量较小时，上述三种方法没有较大的差异。通过实验数据对比，充分验证了所提方法的有效性。

分别采用所提方法、文献[4]提出的基于风险感知的强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法、文献[5]提出的基于人工蜂群算法的强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法进行应急信号优化调度可靠度对比。对比结果如表 1 所列。

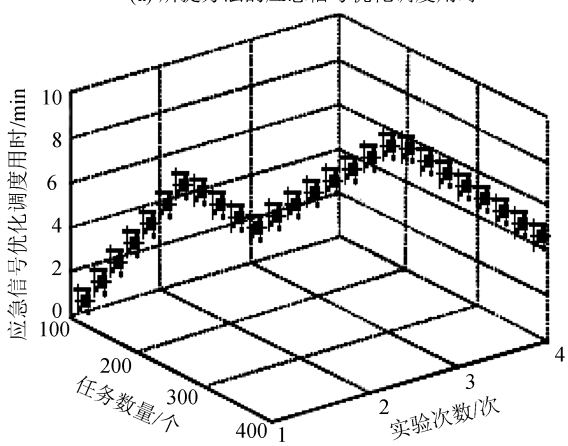
分析表 1 可知，采用所提方法进行应急信号优化调度的可靠度明显高于基于风险感知的强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法和基于人工蜂群算法的强震后交通无线通信系统应急信号优化调度方法。通过具体的实验数据对比可知，所提方法对应的应急信号优化调度可靠性最高。

3　结束语

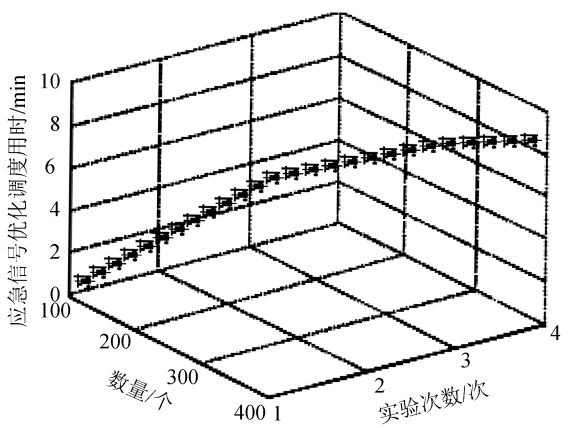
针对传统方法存在的一系列问题，提出了一种基于遗传算法的强震后交通无线通信系统应急信号



(a) 所提方法的应急信号优化调度用时



(b) 基于风险感知的应急信号优化调度用时



(c) 基于人工蜂群算法的应急信号优化调度用时

图 2 不同方法的应急信号调度用时对比图

Fig.2 Time comparison diagram of emergency signal scheduling based on different methods

表 1 不同方法的可靠度对比结果

Table 1 Reliability comparison results of different methods

任务数量/个	应急信号优化调度可靠度/%		
	所提方法	文献[4]方法	文献[5]方法
100	85	70	75
200	90	74	81
300	94	79	85
400	95	82	86
500	98	83	84

优化调度方法。实时调度表中的微周期和宏周期，可以通过节点周期来确定，通过引用遗传算法，获取应急信号优化调度模型。以不同时刻的目标评价函数值进行调度环境变化检测，对试验向量和目标向量进行提取，通过交叉、变异等遗传操作然后比较得到最新的个体，完成对应急信号优化调度模型的求解。实验证明，所提方法具有较强的适应性，且可靠性较高，能够为交通无线应急系统应急信号优化调度提供较好的支持。

参考文献(References)

[1] 张力丹，李超，陈飙松，等.多级多受灾点连续消耗应急物资调度优化策略[J].大连理工大学学报，2017，57(5)：501-510.
ZHANG Lidan，LU Chao，CHEN Biaosong，et al.Optimization Strategy of Emergency Resources Scheduling of Hierarchical Multiple Disaster Sites During Continuous Consumption[J]. Journal of Dalian University of Technology，2017，57(5)：501-510.

[2] 邝永松.信号系统列车自动监控故障降级行车组织分析[J].城市轨道交通研究，2016，19(10)：126-129.
KUANG Yongsong. Traffic Organization Analysis of ATS Failure Degradation in Signal System[J].Urban Mass Transit，2016，19(10)：126-129

[3] 杨建华，马志超，高卉杰.响应突发事件的大型装备应急备件调度模型研究[J].中国安全生产科学技术，2016，12(3)：122-126.
YANG Jianhua，MA Zhichao，GAO Huijie.Research on Scheduling Model of Emergency Spare Parts for Large Equipments in Emergency Response[J].Journal of Safety Science and Technology，2016，12(3)：122-126.

[4] 王治莹，岳朝龙.舆情传播中考虑公众风险感知的多资源流应急优化调度[J].中国管理科学，2016，24(6)：115-123.
WANG Zhiying，YUE Chaolong. Emergency Optimal Scheduling of Multi-resource Flow Considering the Public's Risk Perception in Public Opinion Propagation[J]. Chinese Journal of Management Science，2016，24(6)：115-123.

[5] 赵明，宋晓宇，常春光.改进人工蜂群算法及其在应急调度优化问题中的应用[J].计算机应用研究，2016，33(12)：3596-3601.
ZHAO Ming，SONG Xiaoyu，CHANG Chunguang. Improved Artificial Bee Colony Algorithm and Its Application on Optimization of Emergency Scheduling[J]. Application Research of Computers，2016，33(12)：3596-3601.

[6] 闫学祥，刘海东，杨培盛.城市轨道交通列车车门紧急解锁控制联动优化[J].城市轨道交通研究，2017，20(12)：38-41.
LI Xuexiang，LIU Haidong，YANG Peisheng. Optimum Control Linkage of Door Emergency Unlocking for Urban Rail Transit Vehicle[J].Urban Mass Transit，2017，20(12)：38-41.

[7] 张国富，王永奇，苏兆品，等.应急救援物资多目标分配与调度问题建模与求解[J].控制与决策，2017，32(1)：86-92.

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 Schedulingfor 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 Liquan 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.