

Research on Rapid Assessment of Earthquake Death Toll Based on Neural Network

Haoyu Wu^{1,2}, Xinyan Wu^{3*}, Hongwei Li², Yong Luo²

¹ University of Science and Technology of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030024, China

² Earthquake Administration of Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi 030021, China

³ Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

基于神经网络的地震死亡人数快速评估研究¹

吴昊昱^{1,2}, 吴新燕^{3*}, 李宏伟², 罗勇²

¹ 太原理工大学, 山西太原 030024

² 山西省地震局, 山西太原 030021

³ 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

Abstract

101 post-1960 fatal earthquakes in China mainland were selected to build a BP neural network model for rapid earthquake fatality estimation. In this model, event time, magnitude, epicenter intensity, population density and the event region were selected as input vectors. While, the fatality was assigned as output vector. An empirical test shows that the BP neural network model can give a more accurate assessment, with a good match to the real death toll. This approach can be applied in rapid earthquake losses estimation, and provide scientific basis for emergency rescue and government decision-making.

Keywords: death toll; BP neural network; earthquakes; rapid assessment

摘要

选取了 1960 年以来的 101 个中国大陆地区造成人员死亡的地震震例, 选取地震发生的时间、震级、震中烈度、震中人口密度和地震所在地区作为影响地震人员伤亡的主要因素建立输入层神经元, 地震

死亡人数作为输出层神经元, 利用 BP 神经网络为平台, 建立了地震死亡人数快速评估模型。实证检验表明神经网络模型快速评估的地震死亡人数更接近真实情况, 评估结果更精确。神经网络地震死亡人数快速评估模型可以应用到地震灾害快速评估, 为政府决策和救援提供参考依据。

关键词: 死亡人数; BP 神经网络; 地震; 快速评估

1. 引言

突发的破坏性地震会在瞬间给人类社会造成巨大的损失, 包括建筑物和生命线工程损坏、人员伤亡以及经济损失等。人员伤亡指标是评判地震灾害程度的主要指标, 研究地震人员伤亡的评估方法对于减少地震损失具有重要的意义。因此越来越多的中外学者开始关注地震生命损失的研究[1-7], 尤其是 2008 年汶川地震的发生, 更加快了相关研究的步伐。这些评估方法各有特色, 使用的影响因素、统计资料和评估角度也各不相同, 结果预测与实际情形都或多或少的存在差距。本文试图利用神经网络理论, 考虑多个因素对地震伤亡的影响,

借以更加全面的建立评估模型。当下神经网络研究已经变成一个科学热点, 涉及多个领域如火灾防护领域^[8], 交通领域^[9-10], 医学领域^[11], 经济领域^[12]等, 尤其在地震科学领域应用非常广泛, 例如地震预测^[13-18], 灾害评估^[19-20], 地震序列判别^[21-22]以及危险性划分^[23]等几个方面。

1 基金项目 2015 年度地球物理研究所基本科研业务费 (DQJB15C09)

*作者简介 吴昊昱 (1980-), 男, 工程师, 主要从事数字地震学与震害评估方面的工作, E-mail: why5489@aliyun.com
通信作者 吴新燕 (1977-), 女, 高级工程师, 主要从事防震减灾与灾害评估方面的工作, E-mail: wuxy1977@sina.com

2. 人工神经网络的原理

人工神经网络(Artificial Neural Networks, ANN) 受动物的神经系统启发, 逼近或从样本中学习目标值为离散值、实值或者向量的函数提供一个实用而一般的方法。正如动物神经系统的构成, 人工神经网络也是由许多个神经元相互连接组织形成一个网络。

本文研究的是地震发生后的快速死亡人数评估模型, 选取地震发生的时间, 震级, 震中烈度, 人口密度, 以及地震区域作为评估地震伤亡的 5 个基本参数, 因为这 5 个参数随时间变化范围较小, 在短时期内可以看作是稳定值, 便于模型的快速评估。

根据杨杰英等[24]的研究, 地震发生时间是影响伤亡人数的重要因素: 夜晚比白天的地震伤亡大, 尤其是在 00-06 点期间。而震级与震中烈度更是描述地震能量释放大小与建筑物破坏的两个物理量, 两个物理量与地震人员的伤亡均为正相关。人口密度也与伤亡人数呈正相关, 地震发生时, 震中在经济发达人口稠密区比震中在人口稀少或者无人区造成的经济损失与人员伤亡更大。不同区域的发生同样级别的地震造成的人员伤亡截然不同, 这跟当地人们的防灾意识与当地房屋的抗震性能都息息相关。建立图 1 三层神经网络模型, 5 个基本参数作为输入层, 地震死亡人数作为输出层。

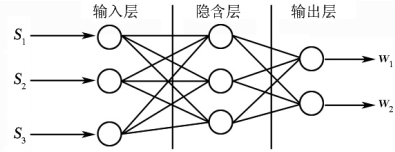


图 1 3 层 BP 神经网络结构示意图[20]

Fig 1 Sketch diagram of three layers BP neural network

3. 地震样本数据收集

选取了 1959 年至 2013 年近 55 年来中国大陆地区造成人员死亡的地震共 160 个, 剔除一些“极端震例”如 1975 年的辽宁海城地震和 1976 年的四川松潘平武地震都因为有一定的预防措施减少了人员的地震死亡数量; 还有震中在海洋和无人区造成死亡的震例和死亡人数为 1 人的震例, 这些都是为了保证评估值更接近一般情况下的地震生命损失情况。最终保留了 101 个震例作为样本(见表 1)。为了方便计算机进行仿真拟合, 地震发生在白天(8:00~20:00)用 1 表示, 夜晚(20:00~次日 8:00)用 2 表示; 根据我国的行政区划图和地震烈度区划图将我国分为东, 中, 西三个区域(见表 2), 其中东部区域用 1 表示, 中部区域用 2 表示, 西部区域用 3 表示。

表 1 震例表

Table1 the earthquake cases

序号	地点	发震时间	震级 (M)	震中烈度	人口密度(人/km2)	区域	死亡人数
1	河北唐山	2	7.8	11.0	11000.00	1	242 000
2	四川汶川	1	8.0	11.0	103.41	3	69 227
3	云南通海	2	7.7	10.0	71.34	3	15 621
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
100	云南盐津	2	5.1	6.0	93.76	3	2
101	重庆荣昌	1	5.3	7.0	735.29	2	2

表 2 分区表

Table 2 division districts

区域	省份
东部	黑龙江、吉林、辽宁、北京、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南、广西
中部	内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃、重庆、河南、湖北、安徽、江西、湖南、贵州
西部	青海、西藏、新疆、云南、四川

4. 评估模型分析

在 matlab 平台上建立 BP 神经网络模型，输入层为 5 个参数，输出层为地震死亡人数，利用隐含层 25 个神经元个数，学习速度 0.05，训练 30000 次。

通过平台程序，得到 BP 网络训练结果如图 2~图 4 所示，可以看出网络训练所得的误差很小。图 5 是实际伤亡人数与网络输出值之间训练和测试的对比图，显然二者之间非常接近，误差较小，因此，可以用 BP 神经网络对地震死亡人数进行预测评估。

5. 算例

根据 2014 年中国发生的四川康定 6.3 级地震和云南鲁甸发生的 6.5 级地震的震例（见表 3）对 BP 神经网络地震死亡人数预测评估进行检验，并与经验拟合的多项式评估算法[6-7]，结果（见表 4）表明：BP 神经网络模型在评估大地震造成人员死亡

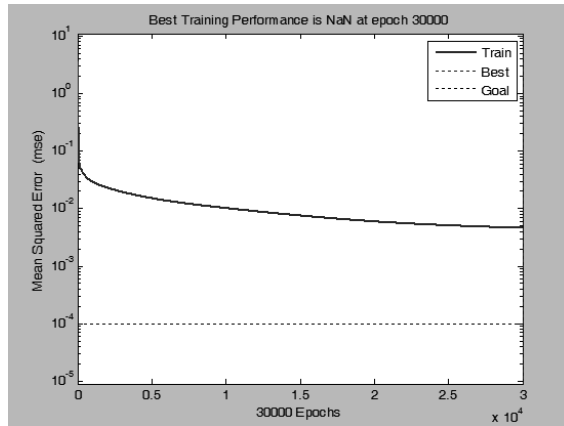


图 2 训练性能
Fig 2 Training performance

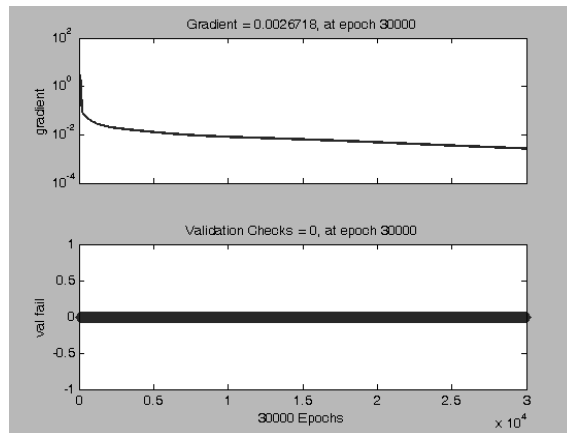


图 3 训练状态
Fig 3 Training state

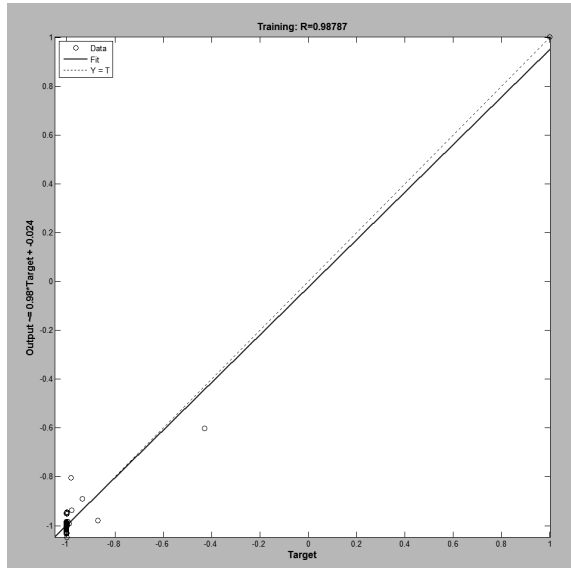


图 4 回归结果

Fig 4 regression result

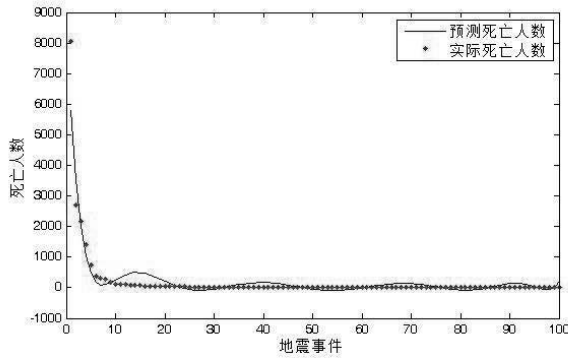


图 5 实际样本值与预测值对比图

Fig 5 Contrast between actual sample values and predicted values

人数较多的地震时，结果更加精确，误差率仅为 16.21%而其他方法建立的模型，误差率较大，而在评估死亡人员数量较小的地震时，误差大些，但评估数量在同一数量级，考虑到数量较少的人员死亡有一定的偶然性和随机性，因此综合评估，BP 神经网络的误差率更小，结果更精确。

6. 结论

分析了造成人员伤亡的几个主要因素利用 BP 神经网络的神经元构建了地震死亡人数评估模型，此预测方法，比以往的经验算法的精度更高。

1975 年的海城 M7.3 地震与 1976 年的松潘-平武 M7.2 地震因为之前都有预报措施，因此这两次

表3 地震算例各参数值

Table 3 parameter value of the earthquake examples

地点	时间	震级 (M)	震中烈度	人口密度 (人/km ²)	区域	死亡人数
四川康定	1 (白天)	6.3	8	9.57	3 (西部)	5
云南鲁甸	1 (白天)	6.5	9	265	3 (西部)	617

表4 评估结果对比

Table 4 Comparison of evaluation results

震例	实际死亡人数	肖光先 ^[6]		赵洪声 ^[7]		BP 神经网络	
		预测值	误差率%	预测值	误差率%	预测值	误差率%
康定地震	5	0	100	2	60	1	80
鲁甸地震	617	209	66.12	146	76.34	517	16.21

地震的死亡人数分别是 1 328 人和 41 人。用 BP 神经网络进行模拟估算, 如果这两次地震没有震前预报措施, 死亡的人数将会是 12 765 人和 1 204 人, 分别减少了 79%和 96%的人员死亡, 由此可见地震前有效的预报措施可大量的减少地震造成的人员伤亡。

结果表明: 传统的经验拟合算法, 一般只考虑 1-3 个参数作为地震死亡人数的因素, 而且误差较大, 而 BP 神经网络评估模型则考虑了更多因素, 充分显示了地震造成人员死亡的多样性和复杂性, 并且拟合误差较小, 评估预测值更加接近真实情况。当然因为影响地震死亡人数的因素还有很多, 对各影响因素之间的权重评估还需要建立更客观, 更科学和更合理的评估体系, 还需要做进一步的研究与探讨。

参考文献

[1] 马玉宏,谢礼立. 我国社会可接受地震人员死亡率的研究.自然灾害学报, 2001.10(3):56-63.
 [2] 马玉宏,谢礼立.地震人员伤亡估算方法研究.地震工程与工程振动, 2000, 20(4):140-147.
 [3] 赵振东,郑向远. 地震人员伤亡研究的回顾与进展.自然灾害学报, 2000, 9(1):93-99.
 [4] Kishor Jaiswal, Wald, et al. Estimating casualties for large earthquakes worldwide Using an Empirical Approach, USGS Open-file Report, 2009
 [5] K.S. Jaiswal D.J. Wald P.S. Earle K.A. Porter and M. Hearne. Earthquake Casualty Models within the USGS Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response (PAGER) System. Second International Workshop on Disaster Casualties, 15-16 June 2009.
 [6] 高惠瑛, 李清霞.地震人员伤亡快速评估模型

研究.灾害学,2010,25: 275-277.

[7] 高建国,贾艳.地震救援能力的一项指标: 地震灾害发布时间的研究.灾害学, 2005, 20(1): 31-35.
 [8] W Zhu, Q You. High-rise Building Group Regional Fire Risk Assessment Model Based on AHP. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2016, 6(1):31-37.
 [9] 乔维德.遗传算法和神经网络在交通事故预测中的应用.电气传动自动化, 2008,30(1):41-44.
 [10] 刘秀清,宇仁德,范东凯. 基于广义回归神经网络的交通事故预测.山东理工大学学报(自然科学版), 2007,21(2):28-31.
 [11] 张诣. 混沌神经网络算法研究及其在医学图像处理中的应用.大连理工大学. 2013.
 [12] 王建成,高大启等. 改进的遗传和 BP 杂交算法及神经网络经济预警系统设计.系统工程理论与实践, 1998, 18(4):136-141.
 [13] 冯利华. 基于神经网络的地震活动性研究.西北地震学报, 2000.22(4):402-406.
 [14] 王碧泉. 模式识别研究及其在地震学中的应用.地球物理学报,1994,37 卷增刊 I: 215-223.
 [15] 陈一超,曾三友,张好春等. 基于遗传神经网络的地震预测研究. 计算机应用与软件, 2008,25(4):135-137.
 [16] 温岩,乔兵. 基于 MATLAB 工具箱的神经网络在地震预报中的应用.东北地质研究, 2001,(3): 38- 39.
 [17] 王炜,宋先月. 人工神经网络在地震中短期预报中的应用.中国地震, 2000.16(2):149- 157.
 [18] 魏红梅,黄世源,贺曼秋. 基于 MATLAB 工具箱的地震预测模型. 东北地震研究, 2007(3):64-68.
 [19] 石成钢,刘西拉. 人工神经网络在震害预测中的应用. 地震工程与工程振动, 1991.11(2):39-47.
 [20] 钱枫林,崔健. BP 神经网络模型在应急需求预测中的应用——以地震伤亡人数预测为例. 中

Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

- 国安全科学学报, 2013. 23(4): 20-25.
- [21] 王炜,戴维乐. 使用 M_f 值、C 值、D 值异常资料进行地震短期预测的神经网络方法. 中国地震, 1997.13(4):392- 401.
- [22] 李冬梅. 基于神经网络和模式识别方法的地震序列类型早期预测研究[D].中国地震局兰州地震研究所.2012.
- [23] 李强,徐戈,杨彩霞. 神经网络在潜在地震危险区估计中的应用.华北地震科学, 2007. 25(2):36- 41.
- [24] 杨杰英,李永强,刘丽芳等. 地震三要素对地震伤亡人数的影响分析.地震研究, 2007. 30(2):182-187.