

Earthquake Prediction Model Based on Neural Network and Gray Prediction Theory

Yuqi Shan

College of Applied Mathematics, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: yuqi_shan@qq.com

Received: Feb. 28th, 2018; accepted: Mar. 14th, 2018; published: Mar. 22nd, 2018

Abstract

Earthquake is a powerful natural disaster. The occurrence of earthquake has brought great disaster to human society. It threatens both the peaceful life and the development of civilization of human being. Therefore, it is necessary to predict the earthquake accurately. In this paper, a long-term prediction model of earthquake was established based on neural network and a short-term prediction model of earthquake was established based on gray prediction theory. The models are used to predict the occurrence of earthquakes in order to reduce the earthquake disaster loss. Firstly, according to the distribution of global pleistoseismic zone, the last 50 years' seismic data has been preliminarily screened. In this paper, neural network was used to establish long-term earthquake prediction model due to the randomness of seismic activity. It was proved by analyzing the number of times and magnitude of earthquake activity in China that the predicted model was exact. Further, this model was applied to predict the occurrence of earthquake in China in 2018. Then, we analyzed the time and the magnitude of earthquake in the last ten years. Based on gray prediction theory, we established short-term prediction model of earthquake. The accuracy of model was verified by analyzing former data. The gray prediction model can fit the magnitude of the earthquake well.

Keywords

Earthquake Prediction, Neural Network Model, Gray Prediction, Analysis of Regression

基于神经网络和灰度预测方法的地震预测模型

单钰淇

成都信息工程大学, 应用数学学院, 四川 成都
Email: yuqi_shan@qq.com

收稿日期: 2018年2月28日; 录用日期: 2018年3月14日; 发布日期: 2018年3月22日

摘要

地震是一种威力巨大的自然灾害,强震的发生给社会带来重大灾难,威胁人类和平稳定的生活,令人类的文明发展遭受威胁,因此,对地震进行准确预测就十分必要。本文通过神经网络和灰度预测方法,分别建立地震的长期和短期预测模型,通过模型对地震的发生情况进行科学预测,以减少地震带来的损失。首先,根据强震带分布,对近50年来世界地震数据进行初步筛选,就地震活动的随机性较强这一特点,本文选用神经网络建立地震长期预测模型。通过模型分析中国历年地震活动次数及其震级强度,验证了模型预测准确、效果好的特点。进一步,我们应用此模型对中国2018年地震发生情况进行预测。之后,使用灰度预测理论建立短期地震预测模型,研究十年内发生地震的情况,分析发生地震的时间以及震级强度两组数据,建立地震短期灰度预测模型。通过对比以往数据,我们发现灰度预测模型能够很好地拟合震级大小,且误差范围小,预测效果理想。

关键词

地震预测,神经网络模型,灰度预测,回归分析

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地震破坏性极强,它的破坏力足以使大片城市夷为平地,给社会和人民带来巨大损失[1]。为了减小地震带来的破坏,对地震进行准确预测十分必要。我们既可以从地壳的运动规律,来研究未来时间内的地震发生情况[2];也可以从以往发生过的地震记录中寻求规律,以达到对未来时间地震发生情况的预测。本文利用后者,通过分析往年的全球统计数据,建立地震预测模型,从而对地震的发生进行科学的预测。之后,通过对近四十年来的全球地震数据进行研究,运用神经网络方法预测未来中国的地震发生情况。

全球强震(此处指大于或等于里氏6.0级的地震)带主要集中分布在环太平洋地震带和欧亚地震带,而且身处其中的不同的地区间地震发生情况是互相关联的,我国亦处在其中[3]。因此我国的地震活动和全球的地震活动是密切相关的,尤其是板块边界的强震活动更是如此。大地震往往发生在断裂转折处或断裂交叉处,因为这些区域受特殊力学原因的影响,往往不易断裂或容易造成断裂的阻碍,只有当致断能量达到一定程度时,才可能造成这些区域最后剧烈断裂[4]。这一点说明,发生一次大的地震需要一定的时间积累,同一地震带内一般不会连续爆发两次或以上的强震[5]。考虑到地震发生是受自然因素影响的,是一个能量释放的过程,所以可以假设在同一个区域相对较短的时期内发生一次强震后,不会连续发生第二次强震。而据全球的强震活动和板块边界分布,通常可把全球分为16个强震活动区(图1)。本文分析使用国家地震数据科学共享中心和国家台网大震速报目录数据。数据从1999年1月1日起,实时更新,发震时刻为北京时间。通过分析数据,找出16个强震活动区的强震活动次数与其后一年我国强震发生与否的关系,用它预测我国2018年是否会有强震(6.0级以上)发生,并预测震级范围。

2. 地震长期预测神经网络模型

2.1. 模型的假设

在建立预测地震模型的过程中,我们假设:

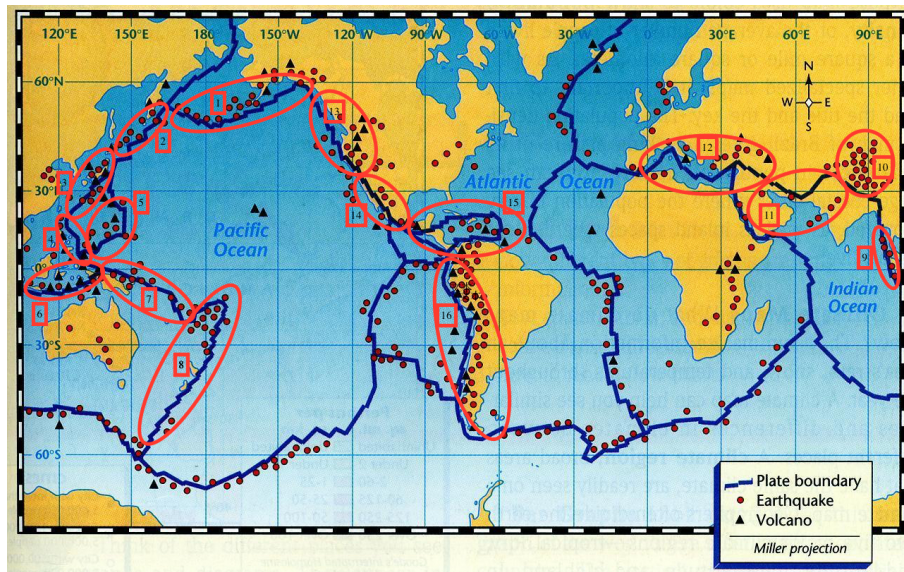


Figure 1. Global pleistoseismic zone distribution map

图 1. 全球强震带分布图

- 1) 不考虑远离 16 个强震活动区的区域所发生的强震对其后一年我国强震发生的影响;
- 2) 在短期时间(15 天)内, 各地震带不发生两次或以上强震(发生强震需长时间积蓄大量能量);
- 3) 将两个月定为统计强地震的单位时间;
- 4) 在考虑强震影响时, 忽略 6.0 级以下地震的影响;
- 5) 假设一段时期内, 弱震和中强震的产生有一定的规律, 而强震的产生在短期时间内无规律。

2.2. 符号说明

M_s : 表示地震等级;

ω_{ij} : 表示第 i 年 j 区的最大震级强度;

m_{ij} : 归一化处理后第 i 年 j 区的震级指数。

2.3. 神经网络模型的建立与求解

BP 神经网络(Back Propagation Network)是一种迭代梯度算法, 用于求解前馈网络的实际输出与期望输出间的最小均方值[6]。BP 神经网络的分类功能来自神经元节点的非线性, 所以, 它可以实现由 N 维空间向 M 维空间的高度非线性映射, 它具有较强的自适应性和自学习功能, 而且具有高度的容错性。当个别输入信号值出现畸变或干扰时一般都不会影响识别结果。因此从理论上讲, 利用神经网络模型, 可以更好地进行地震预测[7]。

首先, 我们进行数据的归一化处理[8]。本文所用地震目录为中国地震局分析预报中心提供的全国地震目录。从地震目录中挑选出 $M_s \geq 6$ 的地震。以年为单位进行地震筛选, 选取每年的最大震级, 构成地震时间序列。将选出地震的震级按照下面公式归一化:

$$m_{ij} = \frac{\omega_{ij} - \min_j(\omega_{ij})}{\max_j(\omega_{ij}) - \min_j(\omega_{ij})}$$

BP 神经网络的输入节点, 输出节点为下一个年的最大地震震级。根据各年中各强震活动区以及中国

的最大震级统计数据, 可以通过选取近 40 年的 34 个样本, 以 15 年以及其后一年的数据作为训练集, 对神经网络模型进行训练, 通过选择不同的函数进行拟合, 得出神经网络模型。将剩下的样本作为测试集合, 通过测试验证, 由模型得出的预测值与真实值之间的误差平均为 0.5 级。由模型得出的预测值与真实值之间的误差统计如表 1 所示。

2.4. 模型的修正

利用剩余的样本进行预测, 发现预测值与真实值之间有一定的误差, 但是总体上误差相对较小。误差产生的原因是由于之前筛选数据时, 只把 6.0 级以上的地震数据考虑在内, 6.0 以下的数据全部被剔除处理造成的[9]。在神经网络地震预测模型中加入 6.0 级以下地震数据, 经过多次调整修正, 得到的部分结果如表 2 所示。

以误差阈值为 0.5, 在阈值内的预测认为是准确预测。

$$\text{准确率} = \frac{\text{准确预测样本数}}{\text{样本总数}}$$

通过计算, 数据误差均值在 0.5 级以内的占总体测试样本的百分之八十, 震级误差较小。在真实情况中, 这样的误差对于预测和判断地震情况的影响小, 拟合效果好。通过对误差值的计算, 我们认为神经网络模型所得结果比较令人满意, 此神经网络模型基本可用于预测地震。

根据 2017 年及之前的地震数据, 用已经训练好的神经网络模型对中国 2018 年的强震发生情况进行预测, 预测中国 2018 年发生强震的可能性较大, 预测最高震级达到 6.53 级以上。

Table 1. Error statistical table of the predicted value of neural network model and the real value

表 1. 神经网络模型的预测值与真实值的之间的误差统计表

真实值	预测值	误差
7.2	6.511	0.689
6.5	6.881	-0.3807
6.7	6.617	0.08289
6.493	6.561	-0.0688
7.2	6.953	0.24739
7.3	6.539	0.76016
7	6.601	0.39906
7.4	6.402	0.99764
7.6	7.472	0.12789
7.4	6.865	0.53473
6.7	7.001	-0.3014
8.2	7.045	1.15548
7.663	7.03	0.63335
6.9	7.831	-0.9311
6.844	7.188	-0.3441
6.844	7.329	-0.4855
7.4	7.424	-0.024
6.7	6.749	-0.0491
8.2	6.4	1.79908

Table 2. The predicted value of neural network model and the real value
表 2. 神经网络模型的预测结果与真实结果

真实值	预测值	误差
7.2	6.5078	0.6922
6.5	6.8826	-0.3826
6.7	6.6257	0.0743
6.493	6.5413	-0.0483
7.2	6.9629	0.2371
7.3	6.5146	0.7854
7	6.5952	0.4048
7.4	6.9102	0.4898
7.6	7.471	0.129
7.4	7.2782	0.1218
6.7	6.9902	-0.2902
8.2	7.7423	0.4577
7.663	7.0163	0.6467
6.9	6.7035	0.1965
6.844	7.1897	-0.3457
6.844	7.3411	-0.4971
7.4	7.4191	-0.0191
6.7	7.1009	-0.4009
8.2	7.8304	0.3696

3. 地震短期预测灰度模型

3.1. 短期预测的理论依据

原则上说,地震发生的时间主要由应变能和致应变能增加点的机械承受力这一对矛盾来共同决定。从这个层次上分析,地震的爆发是不定时的,随时都可能发生。但是,地球还受到月球、太阳及其它行星的吸引。这个引力作用于地球,也作用于地壳[10]。各天体运转都有相对固定的周期,所以从某种程度上来说,同一地点地震的发生也是有据可依的[11]。因此,我们可以根据一个地区前五年的地震发生情况,观察时间与震级之间的规律,然后利用灰度预测方法对数据进行拟合,建立拟合模型。然后利用后五年的数据对模型进行检验。

3.2. 灰度预测模型的建立与求解

通过数据收集,做出中国近年来地震发生时间与震级强度散点图(图 2),应用所得地震模型对数据进行分析。通过模型分析,选择用以下函数式拟合地震级数:

$$y = \sin\left(\frac{1}{\alpha}x + \beta\right) + \varepsilon$$

其中, y 表示发生地震的时间, x 表示地震的级数, $\alpha, \beta, \varepsilon$ 分别为拟合模型中的三个参数。

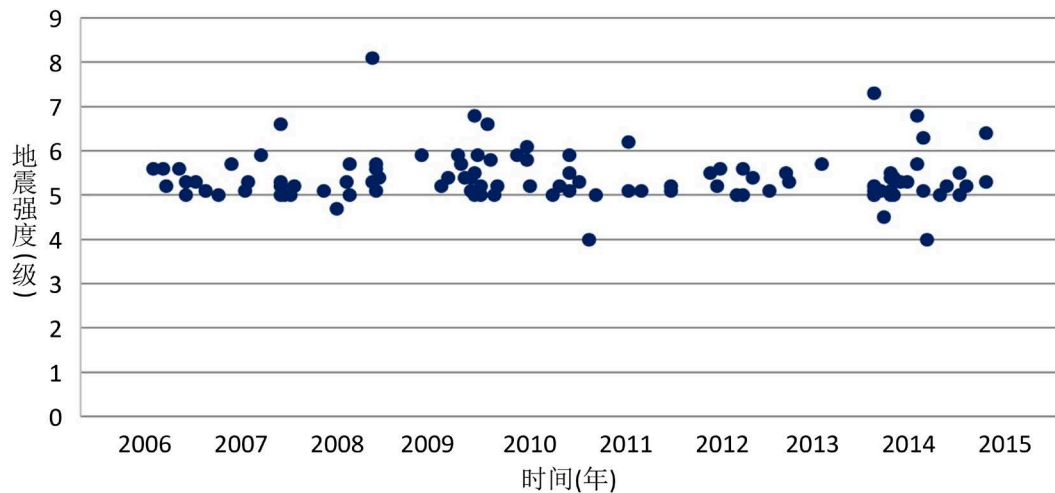


Figure 2. The time and magnitude of earthquake in China from 2006 to 2015
图 2. 2006~2015 年中国地震发生时间与震级强度散点图

使用灰度预测方法, 将 $\alpha, \beta, \varepsilon$ 分别赋值以 $[37, 45]$ 、 $[0, \frac{\pi}{3}]$ 、 $[5, 6]$ 区间中的任意值, 通过数次拟合后的对比分析, 发现当 $\alpha = 40, \beta = \frac{\pi}{24}, \varepsilon = 5.3$ 时得到的预测结果与真实值最能达到吻合。

得到拟合模型为:

$$y = \sin\left(\frac{1}{40}x + \frac{\pi}{24} + 5.3\right)$$

使用地震短期预测灰度模型将近年来地震情况进行拟合, 分析拟合结果得到: 拟合数据平均误差在 0.5 级以内的数据占总体数据的近 80%, 均值误差在 0.8 级以内的占总体数据的 90%, 拟合效果好, 我们认为建立的地震模型较为理想。

2008 年是中国地震多发年, 为验证模型效果, 以 2008 至 2009 上半年为例, 模型结果与真实值对比统计如表 3 所示。

4. 地震预测模型评价与讨论

4.1. 模型的优点

本文在建立模型时, 首先通过常规的方法对往年的数据进行统计分析, 根据地震的不可预测性以及随机性, 分别选取神经网络模型和灰度预测模型进行长期和短期地震预测。通过分析以往的数据即可对未来一段时间内的地震情况进行预测, 模型适用性强, 预测效果好。另外, 本文所建立的神经网络模型和灰度预测模型对于统计无规律事件较为通用, 可以扩展应用于预测其他无规律自然灾害的发生, 例如火山爆发等。

4.2. 模型的缺点

本文虽然用了大量地震数据进行统计分析, 但是在做预处理的过程中, 忽略了爆发地震点不在 16 个强震活动区的地震数据, 可能会因此造成一定误差; 同时, 为了便于建立模型, 寻求主要因素, 我们忽略了许多其他的相关因素。地震的发生与地质构造以及地壳运动紧密相关, 所以在进行预测时, 加入对地质等自然因素的考虑, 才能更加有效地对地震的发生以及震级的强度进行预测。

Table 3. The real value of earthquake magnitude and fitted value of gray prediction model
表 3. 实际震级与函数拟合的理论震级比对表

时间	实际震级(Ms)	理论震级(Ms)	误差	标准差
2008/3/21	5	4.856071675	0.143928325	0.143928325
2008/3/26	5	4.856071675	0.143928325	0.143928325
2008/4/20	5.1	4.902587054	0.197412946	0.197412946
2008/5/12	4.5	4.926244338	-0.42624434	0.426244338
2008/6/9	5	4.974280343	0.025719657	0.025719657
2008/6/10	5.4	4.974280343	0.425719657	0.425719657
2008/6/18	5	4.998627483	0.001372517	0.001372517
2008/7/17	5.3	5.047900017	0.252099983	0.252099983
2008/8/30	5.3	5.09783539	0.20216461	0.20216461
2008/10/6	5.7	5.173693678	0.526306322	0.526306322
2008/11/12	5.1	5.224708778	-0.12470878	0.124708778
2008/11/24	4	5.250298972	-1.25029897	1.250298972
2009/1/25	5	5.352818001	-0.352818	0.352818001
2009/2/20	5.2	5.403936591	-0.20393659	0.203936591
2009/4/19	5.5	5.505220252	-0.00522025	0.005220252
2009/4/22	5	5.505220252	-0.50522025	0.505220252
2009/5/21	5.2	5.55511902	-0.35511902	0.35511902

5. 结语

地震作为最严重的自然灾害之一，一直威胁着人类和平稳定的生活，给人类社会带来重大的灾难，威胁人类的文明发展进程。本文分别使用神经网络模型建立了长期地震预测模型，使用灰度预测方法建立了短期地震预模型，从而对地震进行科学预测，以减少地震带来的损失。

本文首先建立了地震长期预测模型。将每 15 年划分为一个预测时间单位，并将 16 个地震活动区分别编号，以此对数据进行初步筛选。考虑到地震发生是一个能量释放的过程，因此假设在同一个区域相对较短的时期内发生了一次强震后，不会连续发生第二次强震。考虑到地震发生的随机性与不可预测性，我们选用 BP 神经网络模型进行拟合预测[12]。通过多次调整参数拟合得到一个结果相对较好的模型，通过模型可知，16 个强震活动区的地震活动次数以及震级强度对中国下一年的地震发生情况有较明显影响。之后我们利用该模型对 2018 年中国地震发生情况进行预测，预测结果为 2018 年中国极有可能发生强震，最高震级达到 6.53 级以上。

之后，本文通过灰度预测方法，建立了短期地震预测模型，利用前 5 年的地震数据进行预测。首先通过筛选得到 10 年间发生地震的情况，然后对发生地震的时间以及震级强度两组数据对比分析，发现地震发生的趋势并进行拟合。利用灰度预测方法所得的理论震级与真实值进行比对，对模型进行验证，通过修正参数，得出在误差允许范围内的最佳拟合模型。

本文所建立的模型基本完成了对未来长期及短期内地震的发生时间以及震级强度的预测。而且根据不同的情况分别采取了神经网络模型和灰度预测方法，并对参数进行了修正，使得模型的精度提高。但是，我们的拟合结果仍存在一定误差，这是由于最初对数据的处理方式和简化模型所做假设造成的。在将来的模型改进中，将加入全球范围内所有的地震数据进行统计，并建立修正模型。同时，应更多的将

地理因素,如月亮赤纬角极值、厄尔尼诺和拉尼娜对地震的激发作用考虑进模型中[13],进一步从地球构造、地壳运动等理论角度完善预测模型。

基金项目

本文得到国家自然科学基金(51709022),水力学与山区河流开发保护国家重点实验室(四川大学)开放合作基金(SKHL1623),成都信息工程大学科研基金(KYTZ201710)资助项目。

参考文献

- [1] 陈运泰. 地震预测: 回顾与展望[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2009, 39(12): 1633-1658.
- [2] 张培震, 邓起东, 张竹琪, 李海兵. 中国大陆的活动断裂、地震灾害及其动力过程[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(10): 1607-1620.
- [3] 吴忠良, 陈运泰. 地震预测与统计物理[J]. 物理, 2002, 31(6): 365-371.
- [4] 丁国瑜. 中国岩石圈动力学概论[M]. 北京: 地震出版社, 1991.
- [5] 朝娣, 吴小平, 雷兴林, 冒蔚, 孙楠. 长周期潮汐与全球地震能量释放[J]. 地球物理学报, 2013, 56(10): 3425-3433.
- [6] 赵利飞, 王炜. 利用神经网络技术对华东地区进行地震预测[J]. 地震学刊, 2002, 22(4): 21-25.
- [7] 付杰. 基于神经网络的短期地震预测模型及其应用[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2016.
- [8] 魏红梅, 黄世源, 贺曼秋. 基于 MATLAB 工具箱的地震预测模型[J]. 东北地震研究, 2007, 23(3): 64-68.
- [9] 谢家智, 车四方, 林涌. 基于随机神经网络的地震灾害经济损失评估与预测[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 1-4 + 10.
- [10] 周硕愚, 吴云, 江在森. 地震大地测量学及其对地震预测的促进——50 年进展、问题与创新驱动[J]. 大地测量与地球动力学, 2017, 37(6): 551-562.
- [11] 张培震, 等. 天山活动构造[M]. 北京: 地震出版社, 2000.
- [12] 张晓东, 蒋海昆, 黎明晓. 地震预测与预警探讨[J]. 中国地震, 2008, 24(1): 67-76.
- [13] 马钦忠. 中外几次重要地震预测与预报结果之启示[J]. 地震学报, 2014, 36(3): 500-513.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-7991, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aam@hanspub.org