

高速公路危岩落石坠落距离预测平台

盛云波^{1*}, 范佳铖^{2*}, 胡睿¹, 史金兴¹, 王廷战¹, 张淞¹, 尹超^{1#}

¹石家庄铁道大学土木工程学院, 河北 石家庄

²石家庄铁道大学管理学院, 河北 石家庄

收稿日期: 2023年7月31日; 录用日期: 2023年8月21日; 发布日期: 2023年8月30日

摘要

高速公路作为一种现代化的公路运输通道在当今社会经济中发挥着越来越重要的作用, 然而高速公路在朝着山区建设过程中两侧边坡经常出现落石坠落现象。用BP神经网络对落石水平运动距离做预测研究, 从而为高速公路的安全防护提供理论依据。

关键词

危岩落石, 预测, BP神经网络, Matlab

Highway Rockfall Distance Prediction Platform

Yunbo Sheng^{1*}, Jiacheng Fan^{2*}, Rui Hu¹, Jinxing Shi¹, Tingzhan Wang¹, Song Zhang¹, Chao Yin^{1#}

¹Department of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang Henan

²School of Management, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang Henan

Received: Jul. 31st, 2023; accepted: Aug. 21st, 2023; published: Aug. 30th, 2023

Abstract

As a modern road transport channel, expressways play an increasingly important role in today's social economy, but rockfalls often occur on both slopes during the construction of expressways in mountainous areas. BP neural network is used to predict the horizontal travel distance of rockfalls, so as to provide a theoretical basis for highway safety protection.

*相同贡献。

#通讯作者。

Keywords

Rockfall, Forecast, BP Neural Networks, Matlab

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

我国高速公路不断发展, 不断向内陆山区发展, 而山区由于岩石居多, 在外界条件的影响下, 产生许多地质脆弱的地段, 同时在施工过程中, 如爆破等震动使得高速公路上经常有落石坠落, 从而导致高速公路危岩落石灾害日益突出, 故预测危岩落石是一条势在必行的举措。

王栋等[1]采用 Rockfall Analyst 软件对西南山区某隧道上部五类不同尺寸的高位危岩体进行三维运动轨迹数值模拟, 为该地区提出综合使用多种防护措施的意见; 花晓鸣[2]等运用 Rockfall 软件建立了高陡边坡落石运动分析模型, 系统地研究了落石的运动特征; 赵奕翰[3]等根据历史落石运动特点、体量、形态及主要运动方向等, 计算模拟了落石运动轨迹、冲击动能和弹跳高度等数据, 为设计提供准确可靠的依据并以此进行防护方案设计; 唐红梅等[4]探究三峡库区陡高边坡落石运动规律和落石灾害的影响, 为工程防治提供依据; 杨川[5]利用有限元软件对体积为 0.5 m^3 、 1.0 m^3 、 1.5 m^3 的落石运动轨迹进行模拟, 确定了落石的冲击能量、弹跳高度、冲击速度及落点范围。

基于边坡平均坡度、边坡高度、坡面条件、落石质量、落石形状五个方面, 利用 BP 神经网络对落石水平运动距离做预测研究, 从而为高速公路的安全防护提供理论依据。

2. 人工神经网络——BP 神经网络简介

2.1. 人工神经网络

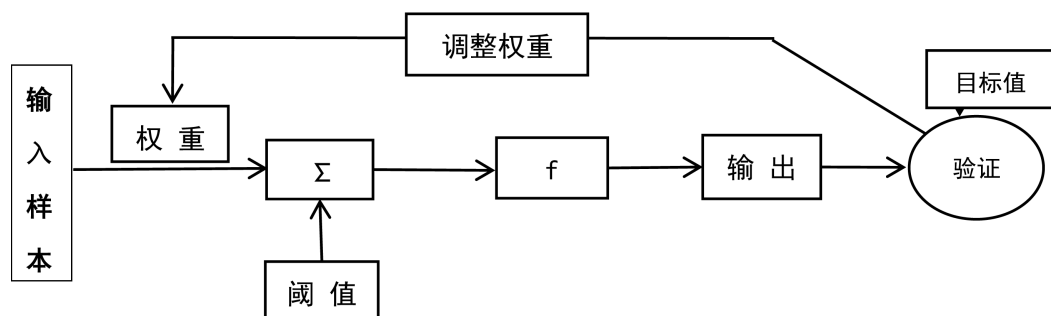


Figure 1. Artificial neuron model

图 1. 人工神经元模型

人工神经网络(Artificial Neural Networks, ANN)是一种依靠能够模仿生物的神经网络对信息进行分布式并行处理的数学模型(见图 1)。

BP 神经网络(即 Back-Propagation 算法)是众多人工神经网络之一, 其权重调整规则为后向传播学习。BP 算法于 1985 年由 Pumelhart 等人提出, 并于 1986 年用此算法解决了多层感知器的问题, 自此成为至今影响最大、应用范围最广泛的网络学习算法[6]。基于 BP 神经网络可有效解决包含着多因素的复杂工

程问题且具有误差反向传播反复调整的特点, 本文利用 BP 神经网络对落石水平运动距离做预测研究。

2.2. BP 神经网络的基本原理

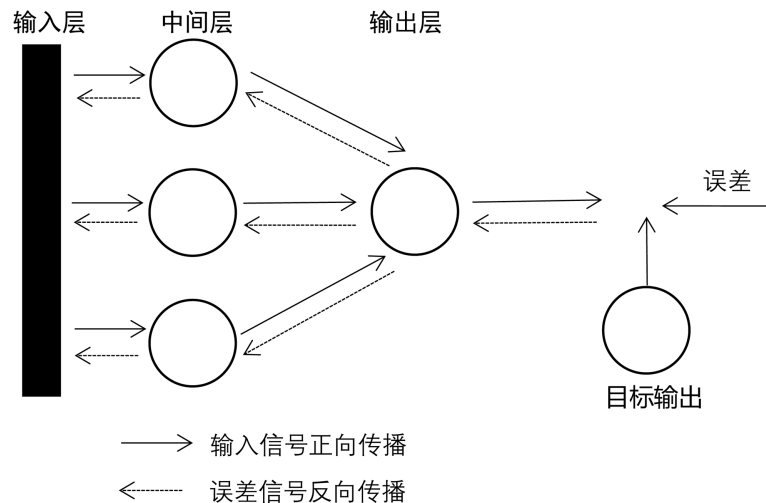


Figure 2. Forward and backward propagation of the signal
图 2. 信号的正反向传播

2.3. BP 神经网络的学习过程(见图 2)分为四个阶段(见表 1) [6]

Table 1. BP neural network learning process
表 1. BP 神经网络学习过程

“模式顺传播”过程	输入层接收外界输入信息, 并传递给负责信息变换的中间层, 最后一个中间隐含层将信息传递给输出层, 经进一步处理后, 由输出层向外界输出信息处理结果。
“误差逆传播”过程	误差信号(网络的期望输出与实际输出之差)通过输出层, 按误差梯度下降的方式修正各层权值, 向隐层、输入层逐层反传。
“记忆训练”过程	反复的“模式顺传播”和“误差逆传播”过程, 并且各层权值不断调整。
“学习收敛”过程	网络的全局误差一直进行到网络输出的误差减少到可以接受的程度, 或者预先设定的学习次数为止。

人工神经网络中输入向量传递给神经元后, 每一个输入向量经权重 ω 处理后与变量 b 的和值输入给线性传递函数, 由传递函数生成其输出向量。多层前馈 BP 神经网络常用的传递函数主要是正切 Sigmoid 函数。正切 Sigmoid 函数的输出值限定于一个较小的范围内, 而运用线性传递函数则能获得更大的输出值。

3. 样本数据的分配和预处理

在神经网络模拟过程中, 需要按照样本数据的用途对其进行分类, 网络训练样本测试样本[7]。一般情况下, 70%~80%的样本用于训练网络, 其余的样本用于检测网络性能。训练样本的多少对网络性能的影响很明显: 如果网络训练样本不够, 即使得到所有样本输入对应的结果并且也能预测对应的输入, 但是预测样本的预测值与实际值的误差必然很大。当训练样本越多, 各样本数据范围越广, 神经网络就通过学习能捕获样本输入与输出之间的普遍关系, 因此, 即使对于没有包含于训练样本之中, 但位于训练

样本数值范围之内的输入也能进行正确有效的预测。

本文根据试验数据, 将边坡平均坡度、边坡高度、坡面条件、落石质量、落石形状作为神经网络输入因子, 网络的输出因子为落石的运移距离。但是在已有的数据中, 有如边坡坡面覆盖层情况、落石形状等需进行数字编号, 这样才能利用 BP 神经网络对落石进行预测。故对于边坡坡面覆盖层情况, 将基岩裸露设置为数字 0、草坪 1.0 cm 厚设置为数字 1、草坪 1.5 cm 厚设置为数字 2。同样的, 对于落石形状, 将类球形设置为数字 0、将方形设置为数字 1、将长条形设置为数字 2、将薄片形设置为数字 3, 从而得到样本预处理数据, 部分样本数据预处理(见表 2)。

Table 2. Sample partial data preprocessing

表 2. 样本部分数据预处理

Slope (°)	Height (m)	Mass (kg)	Face	Shape	Distance (mm)
45	0.625	0.1	0	0	942.08
45	0.625	0.2	0	0	945.42
45	0.625	0.3	0	0	980.42
45	0.625	0.1	0	1	953.75
45	0.625	0.2	0	1	960.42
45	0.625	0.3	0	1	958.75
45	0.625	0.1	0	2	945.42
45	0.625	0.2	0	2	945.42
45	0.625	0.1	0	3	962.08
45	0.625	0.2	0	3	955.42
45	0.625	0.3	0	3	960.42
41.08	0.781	0.1	0	0	1254.58
41.08	0.781	0.2	0	0	1266.25
41.08	0.781	0.3	0	0	1252.92
41.08	0.781	0.1	0	1	1252.92
41.08	0.781	0.2	0	1	1289.58
41.08	0.781	0.3	0	1	1372.92
41.08	0.781	0.1	0	2	1259.58
41.08	0.781	0.2	0	2	1272.92
41.08	0.781	0.3	0	2	1272.92
41.08	0.781	0.1	0	3	1264.58
41.08	0.781	0.2	0	3	1252.92
41.08	0.781	0.3	0	3	1286.25

Continued

46.98	1.25	0.1	0	0	1774.20
46.98	1.25	0.2	0	0	1787.53
46.98	1.25	0.3	0	0	1807.53
46.98	1.25	0.1	0	1	1797.53
46.98	1.25	0.2	0	1	1817.53
46.98	1.25	0.3	0	1	1849.20

4. 结果及分析

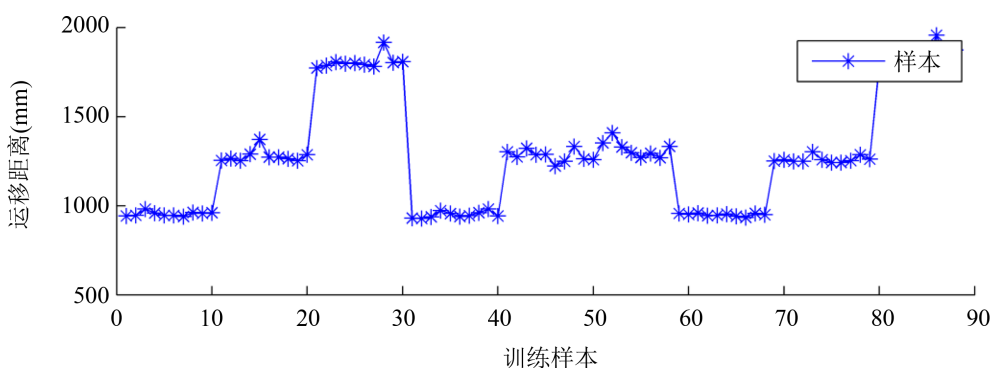


Figure 3. Random sample learning output
图 3. 随机样本学习输出

在样本数据中随机抽取 90 组, 作为训练数据, 利用 Matlab 所创建的 BP 神经网络模型对其进行学习 (见图 3)。其中, 训练数据的最大运移值 1849.20 mm, 最小运移值为 927.08 mm。

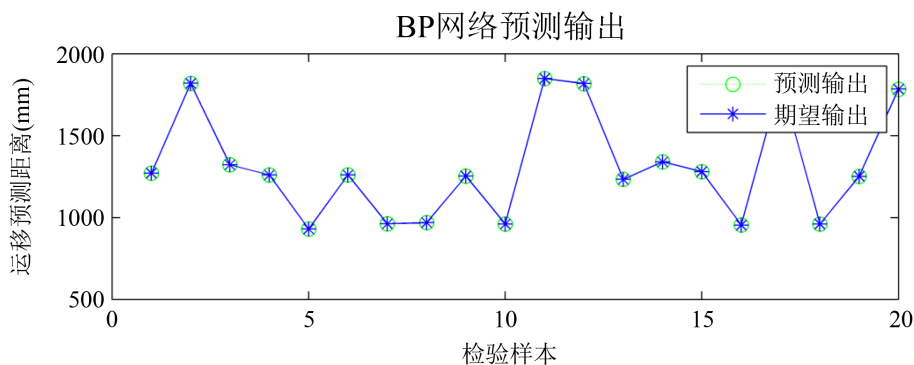


Figure 4. Test sample to predict output
图 4. 检验样本预测输出

在 BP 神经网络学习后, 对 20 组检验样本进行预测, 可见 20 组检验样本预测结果在 927.08 mm~1849.20 mm 之间, 这个范围包含在训练数据两个最值之间(见图 4)。

20 组样本的预测值与真值的误差(见图 5), 由图可知神经网络预测值与落石实际运移值得差值中最大值为 0.38 mm, 最小值为-1.43 mm; 神经网络预测误差百分比最大绝对值不超过 0.08% (见图 6), 由图 5、图 6 可知所创建的 BP 神经网络模型具有良好的预测效果。

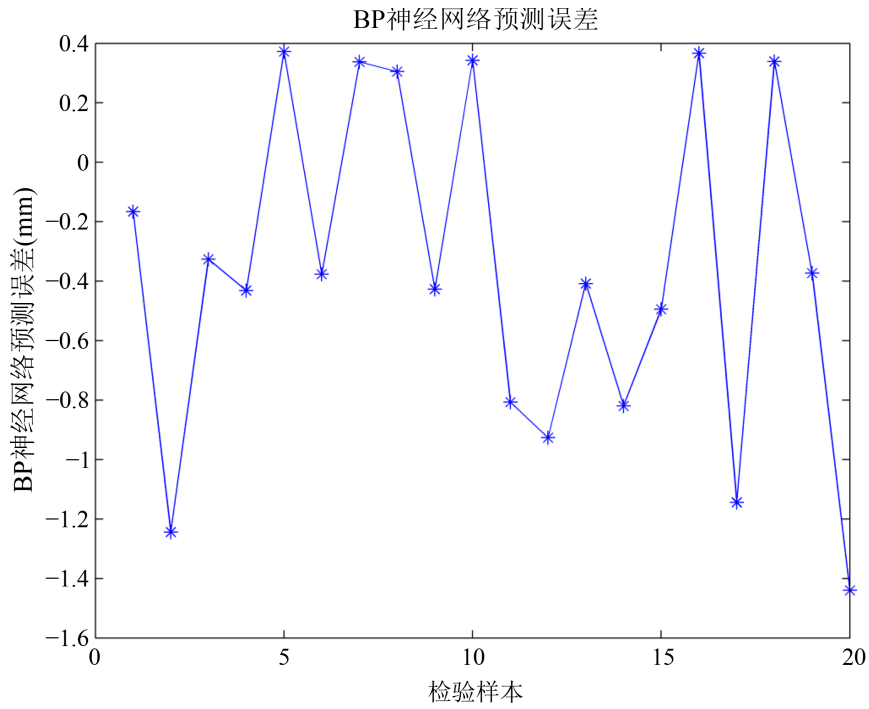


Figure 5. Prediction error of BP neural network
图 5. BP 神经网络预测误差

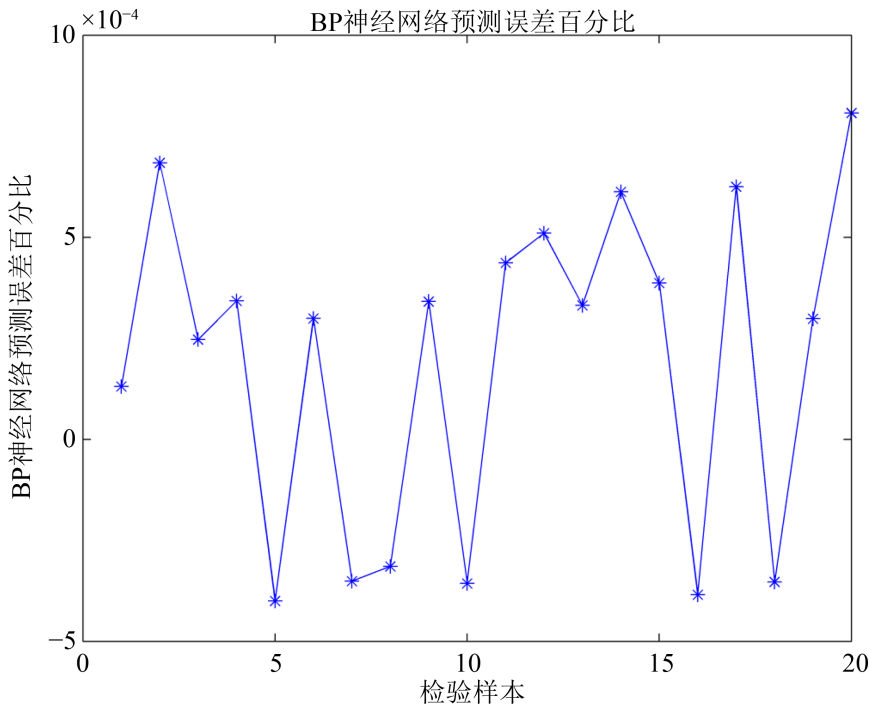


Figure 6. Neural network prediction error percentage
图 6. 神经网络预测误差百分比

5. 结语

在山区高速公路上, 危岩落石灾害日益突出, BP 神经网络模型能够快速对其做出评估。本文通过建

立 BP 神经网络模型, 结合坡度、坡高、坡面覆盖情况、落石质量、落石形状五个参数, 针对危岩落石进行精确合理的预测, 为研究危岩落石和高速公路防护提供理论依据。同时, 神经网络预测平台对影响落石运移距离的参数的学习, 可用以对现实中相似工况进行预测。

基金项目

全国大学生创新创业计划项目(202210107160)。

参考文献

- [1] 王栋, 王剑锋, 李天斌, 等. 西南山区某铁路隧道口高位落石三维运动特征分析[J]. 地质力学学报, 2021, 27(1): 96-104.
- [2] 花晓鸣, 王永, 苟晓军. 山区铁路危岩落石运动特征及防治研究[J]. 路基工程, 2021(6): 215-218.
<https://doi.org/10.13379/j.issn.1003-8825.202011080>
- [3] 赵奕翰, 郭强, 王亚雄, 等. 某坡脚有大量重要建筑物的高陡边坡危岩坠落分析计算及防护设计[C]//中国建筑学会工程勘察分会, 中国水利学会勘测专业委员会, 中国铁道学会工务委员会, 西藏自治区水力发电工程学会, 北京华森启达企业管理咨询有限公司. 第十四届全国边坡工程技术大会论文集. 2022: 5.
- [4] 唐红梅, 李阳, 王林峰. 三峡库区陡高边坡落石运动特性数值模拟分析[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2019, 36(4): 49-54.
- [5] 杨川. 池黄高速铁路隧道高陡边坡危岩落石防护方案研究[J]. 铁道建筑, 2023, 63(5): 124-126.
- [6] 高隽. 神经网络原理及仿真实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [7] Faraway, J. and Chatfield, C. (1998) Time Series for Ecasing with Neural Networks: A Comparative Study Using the Air Line Data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, **47**, 231-250.
<https://doi.org/10.1111/1467-9876.00109>