

基于神经网络技术的桩基承载力预测模型及其应用

孙立新^{1,2}

(1.西北工业大学 力学与土木建筑学院, 陕西 西安 710072;

2.陕西交通职业技术学院 公路工程系, 陕西 西安 710018)

摘 要: 根据长期的工程实测资料,在分析小波概率神经网络(WPNN)与数据融合技术在预测单桩竖向承载力中的应用原理的基础上,建立了基于小波概率神经网络和数据融合技术的预测模型。利用静载实验数据对模型进行了预测,并对预测结果进行了误差分析,结果表明,预测的结果和静载实验数据吻合较好,从而证实了 WPNN 预测方法具有较好的可靠性和工程应用价值。

关键词: 桩基承载力;小波概率神经网络;数据融合技术;承载力预测

中图分类号: TU473.1⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)05—0120—04

Prediction Model for Bearing Capacity of Pile Foundation Based on Neural Network Technique and Its Application

SUN Li-xin^{1,2}

(1. College of Mechanics and Civil Architecture, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China;

2. Department of Highway Engineering, Shaanxi Vocational and Technical College of Communications, Xi'an, Shaanxi 710018, China)

Abstract: According to the long-term actual engineering data, the prediction model is set up based on the wavelet probability neural network (WPNN) and data-interfusion technique through analyzing their application principle in the prediction of vertical single-pile bearing capacity. Then, the model is predicted by using dead-load experiment data, and the error analysis is made for the prediction results. The analysis results show that the prediction results tally better with the dead-load experiment data, which would prove that the WPNN prediction method has the satisfied reliability and engineering application value.

Keywords: bearing capacity of pile foundation; wavelet probability neural network (WPNN); data-interfusion technique; prediction of bearing capacity

桩基础是高层建筑最常见的基础形式之一,近年来应用广泛,在桩基的施工过程中,桩的承载力影响因素很多,而且这些因素很不确定,成桩后桩的承载力是否能够达到设计值是工程技术人员一直考虑和关心的主要问题。静荷载试验与动测法是目前确定单桩竖向承载力的主要方法,然而,静荷载试验存在费用高,时间、人力消耗大,试桩数量有限的缺点,作为静载试验的补充,动测法技术难度较大,影响试验结果的因素又较复杂,所以承载力测试的结果会产生较大的误差。因此,寻求一种简单准确的预测桩基础承载力的方法,对满足日益增长的桩基工程的应用有重要意义^[1]。

1 单桩承载力预测方法模型

单桩竖向承载力的确定是桩基础设计中的重要问题。在桩身强度足够时,桩的竖向承载力取决于土对桩的支承能力,这种支承能力包括两个方面:一是由于土的强度决定的对桩最大的支承力;二是由于土的变形性质决定的,保证桩不发生过大沉降的最大支承力。

单桩的极限承载能力与多种因素有关,通常认为比较重要的有桩长、桩径、桩周土的物理力学指标等。但是,在许多工程实际中还发现桩的几何形状、类型以及成桩工艺、加荷速率等因素对桩的承载力

也常有不可忽视的影响。目前,尚无能较全面考虑这些因素的理论公式、数值计算等确定性方法。将神经网络技术引入桩基础的承载力预测中,不但能够考虑各种传统分析方法所考虑的因素,还能考虑那些不确定的非数值型的因素,因而可以获得较为精确可靠的预测结果^[2]。

基于以往静载试验数据的人工智能单桩承载力预测方法在目前得到了较为广泛的研究和应用,这些方法都能较好的预测单桩的承载力,但这些技术存在着识别精度不高或适用条件不匹配等缺陷。迅速发展的数据融合技术具有充分利用各个数据源包含的冗余和互补信息的优点,可以提高系统决策的准确性和鲁棒性。基于小波概率神经网络(Wavelet

Probabilistic Neural Network – WPNN)和数据融合的预测方法将两者有机结合,扬长避短,在单桩承载力预测中显示出独有的优越性。为了充分发挥数据融合与 WPNN 的优点,提出了基于 WPNN 与数据融合的单桩承载力预测模型^[3-4],见图 1。首先将来自以往单桩静载试验的数据和影响单桩承载力的因素进行数据预处理、并进行特征提取,采用小波理论,获得具有单桩承载力影响因素 1 的小波能量特征向量;依次类推,获得单桩承载力其他影响因素的小波能量特征向量;然后将这些小波能量特征向量放入 WPNN 中,进行神经网络训练及融合计算;最后根据最大的概率密度函数值得到融合的单桩承载力预测结果。

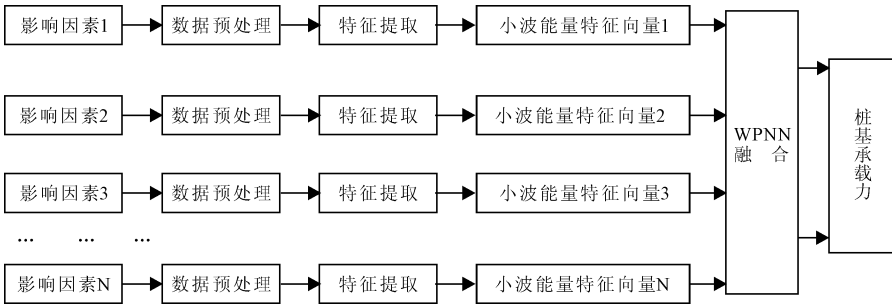


图 1 基于 WPNN 的单桩承载力预测方法模型

可见,基于 WPNN 与数据融合技术的单桩承载力预测方法是根据以往的桩基静载试验数据分析中,提取影响单桩承载力的影响因素特征向量,经过数据融合分析计算与处理,进行单桩承载力预测的过程。

2 小波概率神经网络预测模型算法

数据融合的算法是实现数据融合系统功能的核心理论部分。目前数据融合算法很多,不同的文献也有不同的分类标准。根据不同的应用环境,多因素信数据融合的实现算法主要有加权平均法、Kalman 滤波、Bayes 推理、聚类分析、产生式规则、模糊逻辑、粗糙集理论、证据理论、神经网络方法等。本文单桩承载力数据融合预测方法的算法采用小波神经网络算法^[5]。

小波函数作为神经网络的激励函数与普通神经网络的激励函数在本质上是一致的,并且验证了小波网络在函数逼近方面的效果优于普通神经网络。但同时也指出如果尺度、位移以及权重的初始值选得不对,小波网络可能不收敛。

对于函数空间 $L^2(R)$,设 ψ 为具有良好性的母

小波,则一个信号 $f(t)$ 在局部的小波变换:

$$c_{a,b} = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_R f(t) \overline{\Psi(\frac{t-b}{a})} dt \tag{1}$$

给出了某频率段的频率分量。设信号的有限时间采样序列 $f(t_i) = f(i\Delta), t_i \in [t_1, t_2]$,其中 $i = 1, \cdots, N$ 。则(1)式可离散计算为:

$$c_{a,b} = \frac{t_2 - t_1}{N} a^{-\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^N f(i\Delta) \overline{\Psi_{a,k}(a^{-1}i\Delta - a^{-1}b)} \tag{2}$$

根据小波分析理论,随着参数 $a、b$ 两因子的调节变化,上述的小波变换可以实现从局部、非稳态的信号中提取各种不同频率的频率分量。但因为只有其中某些特定频率段的分量对桩基承载力的预测较敏感,所以不必对所有频率段的分量进行计算,这样不仅可以突出最能反映桩基承载力影响因素的特征分量,实现具有较高准确性的预测结果,还可以减少网络模型的复杂性。为此将小波变换中反映频率分量的桩基承载力影响因素的参数作为小波神经网络整个权空间的一部分,根据目标问题参与调节,由此实现了以暂态信号求特定目标的自适应小波变换。据此建立适合于单桩竖向承载力预测的小波神经网络模型,见图 2。

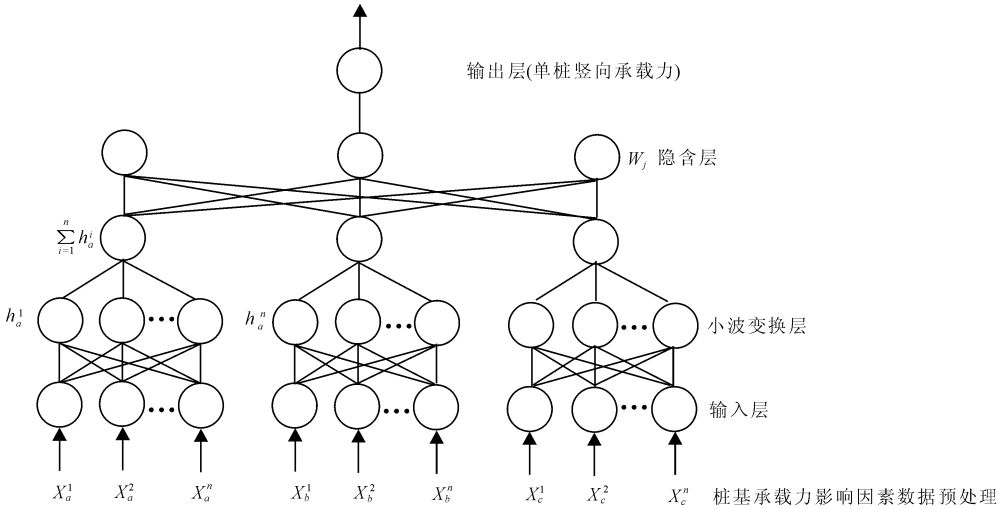


图 2 基于小波神经网络的预测模型

在图 2 中,小波神经网络模型共分为 4 层:输入层、小波变换层、隐含层、输出层。输入层按照单桩竖向承载力影响因素的个数分为对应的几组。输出层包含单一神经元,表征单桩竖向承载力的预测值。

3 算 例

根据近年来对某地区高层建筑钻孔灌注桩单桩承载力的静载试验研究^[6-7],得出表 1,表 1 统计了影响桩基承载力的因素(包括桩长、桩径、侧摩阻值加权平均值、桩端承载力等)和静载试验实测值的对

应关系,从表 1 中可以看出,影响单桩承载力的因素和单桩的承载力之间的关系是比较复杂的,而且各个因素之间存在着耦合关系,应用单纯的线性回归难以得出正确的关系式。

本文利用 MATLAB 通用程序,先通过数据融合技术对桩基的承载力影响因素进行预处理,然后得出小波神经网络的输入向量,再经过数据融合技术得出单桩的承载力预测值的模型,然后在表 1 中随机抽取样本对预测模型的可靠性进行验证,分析误差。

表 1 单桩承载力静载试验数据

序号	桩长 /m	桩径 /mm	侧摩阻值加权平均值 /kPa	桩端土承载力 /MPa	实测值 /kN	序号	桩长 /m	桩径 /mm	侧摩阻值加权平均值 /kPa	桩端土承载力 /MPa	实测值 /kN
1	28.8	1300	59.7	1.85	10000	16	14.1	450	29.0	1.43	900
2	28.1	1300	59.7	1.85	10000	17	15.0	800	40.0	1.67	2500
3	30.5	800	39.2	2.27	5700	18	15.0	800	40.0	1.67	3600
4	30.5	800	40.1	2.27	5400	19	26.5	600	116.1	27.0	5950
5	36.6	800	38.9	3.13	6000	20	26.6	800	116.1	27.0	7200
6	35.6	800	38.6	3.13	5400	21	26.5	800	116.1	27.0	7200
7	35.3	800	64.5	2.40	6000	22	24.5	800	35.5	2.23	6400
8	35.4	800	64.6	2.40	6000	23	23.7	800	33.9	2.23	6000
9	35.4	800	64.2	2.40	5400	24	24.5	800	32.4	2.23	5000
10	30.9	800	47.5	2.40	5600	25	24.5	800	32.4	2.23	6500
11	30.9	800	47.5	2.40	6000	26	33.5	800	78.0	2.60	9200
12	21.9	800	35.9	1.83	3900	27	26.0	700	37.6	2.20	4400
13	17.6	600	36.8	2.40	2250	28	25.7	700	37.5	2.20	4500
14	17.7	600	36.9	2.40	2250	29	27.0	600	100.9	1.70	5600
15	15.4	450	29.7	1.43	750	30	27.0	600	100.9	1.70	5600

经过对桩长、桩径、侧摩阻值加权平均值、桩端

承载力进行分析,确定小波概率神经网络的输入层,

输入前对数据进行预处理,该算例在确定输入时,采用了归一化的处理方法,经过归一化的小波概率特征向量的学习和训练,建立了该算例单桩承载力预测的模型,为了验证该模型的有效性,在30个单桩承载力样板中随机的抽取了10个,桩号分别为2、3、4、5、6、10、13、15、16、24,其预测值和实测值之间的关系如图3所示。

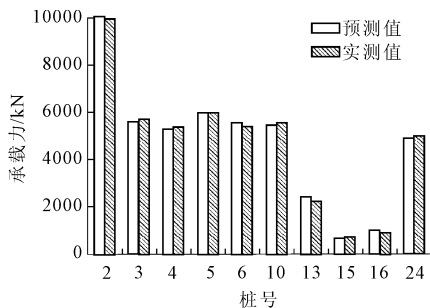


图3 桩基承载力预测值与实测值比较

从图3可以看出:对于单桩竖向承载力的预测,文中提出的数据融合模型具有较好的可靠性,在任意取出的10个样本中,其承载力的预测值均比较接近,能够满足工程应用的要求。

4 结 论

通过本文对小波概率神经网络和数据融合技术的研究以及在单桩承载力预测中的应用,得出了以下几个重要的结论:

(1) 小波概率神经网络算法具有较好的泛化、联想功能,与数据融合有效结合能够较准确的建立单桩竖向承载力的模型,通过算例的验证,证实了所建立的单桩承载力预测模型的可靠性,说明了该模型具备了初步的工程应用价值。

(2) 单桩承载力影响的因素往往较多,文中以重要的几个因素为预测模型的输入向量,能够满足预测模型的需要,若考虑的因素增多使小波概率神经网络的运算受到影响,如何更精确更有效提高预测模型的精度是一个值得继续深入研究的问题。

参考文献:

- [1] 王建华.神经网络法预估水泥搅拌桩单桩沉降[J].土木工程学报,1996,29(1):55-61.
- [2] 袁旭东.基于不完备信息土木工程结构损伤识别方法研究[D].大连:大连理工大学,2005.
- [3] 翁光远,王社良.悬壁板损伤数值模拟试验与WPNN识别方法[J].西安工业大学学报,2009,29(3):290-292.
- [4] 翁光远,王社良.基于BP神经网络的损伤识别方法研究[J].华中科技大学学报(城市科学版),2009,26(2):16-18.
- [5] 汪玲,刘正茂,杨旭日,等.小中甸水利枢纽工程建设对硕多岗河水文与生态过程的影响效应预测[J].水利与建筑工程学报,2011,9(1):20-22.
- [6] 翁光远.钢筋混凝土预制桩单桩竖向承载力分析[J].建筑技术,2009,40(7):636-638.
- [7] 姚仰平,高永贵,韩昌.西安地区桩基静载荷试验资料汇编[M].西安:陕西科学技术出版社,1999.