

Design and Implementation of Deep Foundation Pit Monitoring and Early Warning System Based on Grey Model

Chiyi Liu, Yuliang Lu, Guobao Zhang

Automation School of Southeast University, Nanjing Jiangsu
Email: 220171563@seu.edu.cn

Received: Nov. 29th, 2019; accepted: Dec. 13th, 2019; published: Dec. 20th, 2019

Abstract

In recent years, with the continuous development of deep foundation pit engineering, the safety problems of deep foundation pit engineering have emerged continuously. The country or the company pays more and more attention to the safety monitoring of deep foundation pit engineering. In this environment, this paper designs and implements a set of deep foundation pit engineering monitoring and early warning system. First of all, it can meet all the requirements of on-site safety monitoring of deep foundation pits, from data collection to data storage analysis, to data web display, and finally provide timely SMS email alarm when the monitoring value reaches the alarm value. In addition, this paper introduces the integrated prediction module of this system, which improves the gray model prediction, and can predict the settlement of surrounding buildings. At the same time, the system reserves the data receiving interface and prediction interface, which has good compatibility for subsequent automatic monitoring and prediction of each monitoring item. Finally, the results of prediction experiments and background stress tests show the system's good prediction ability and ability to provide high-performance services.

Keywords

Deep Foundation Pit Engineering, Monitoring and Early Warning, Improved Grey Model, Web Services

基于灰色模型的深基坑工程监测预警系统设计与实现

刘炽义, 鲁瑜亮, 章国宝

东南大学自动化学院, 江苏 南京
Email: 220171563@seu.edu.cn

收稿日期: 2019年11月29日; 录用日期: 2019年12月13日; 发布日期: 2019年12月20日

摘要

近年来,随着深基坑工程不断发展,深基坑工程的安全问题不断出现,不管是国家还是公司越来越重视深基坑工程的安全监测问题。在这样的环境下,本文设计并实现了一套深基坑工程监测预警系统。首先能够满足目前深基坑现场安全监测的所有需求,从数据的采集,到数据的存储分析,再到数据的Web端展示,在监测值到达报警值的时候提供及时的短信邮件报警。另外本文介绍了本系统集成的预测模块,对灰色模型预测做了改进,能够对周边建筑物沉降量进行预测。同时本系统预留了数据接收接口和预测接口,对于后续自动化监测以及各个监测项目的预测具有很好的兼容性。最后对于预测实验结果以及后台压力测试结果展示了本系统良好的预测能力以及高性能的服务能力。

关键词

深基坑工程, 监测预警, 改进灰色模型, 后台服务

Copyright © 2019 by author(s) 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

随着经济的高速发展,城市建筑规模以及城市交通规模的不断扩大,人们为了更好的利用空间,对于地下空间的开发逐渐增多,尤其是地铁、地下商场等地下工程。根据规范规定开挖深度超过5米或地下室为三层及以上的的工程称为深基坑工程[1]。由于深基坑工程为临时性工程,部分单位认为不需要投入太多的人力和财力,导致近几年的基坑事故频发。2017年5月11日,位于深圳市福田区绒花路的深圳市轨道交通工程3号线三期南延工程基坑发生一起土方坍塌事故,造成3人死亡,1人受伤;2019年5月27日,青岛地铁4号线沙子口静沙区间施工段坍塌事故,5名工人全部死亡。另外深基坑工程是一个复杂的多学科岩土工程问题,很多工程问题目前理论研究无法解决,因此深基坑监测势在必行。夏乐乐建立了一套深基坑安全监测信息分析系统,实现数据的自动整合分析[2];何兴刚将自动化监测技术应用在了深基坑监测中[3]。但是对于目前深基坑系统的研究开发,深基坑监测系统还存在很多问题,表现在:

1) 兼容性不够,对于有些监测项目,虽然可以利用自动化监测实现数据的自动采集,但是很多监测项目还处在人工测量阶段,所以深基坑监测系统应该具备人工测量数据的录入功能。

2) 缺乏预警功能,目前对于深基坑变形预测的研究虽然很多,但大多停留在理论研究阶段,没有付诸于实际系统的集成。

3) C/S架构的局限性,目前的深基坑监测系统停留在现场工作。在互联网技术的飞速发展的今天,B/S架构让任何地方,任何时间访问系统成为可能。

2. 需求分析

基于目前深基坑监测系统存在的问题,同时应甲方要求,本文设计并实现一套深基坑工程监测预警系统,通过该系统实现对深基坑工程现场的安全监测。本设计的重点在于深基坑监测预警系统的整体设计,实现的功能如图1所示。

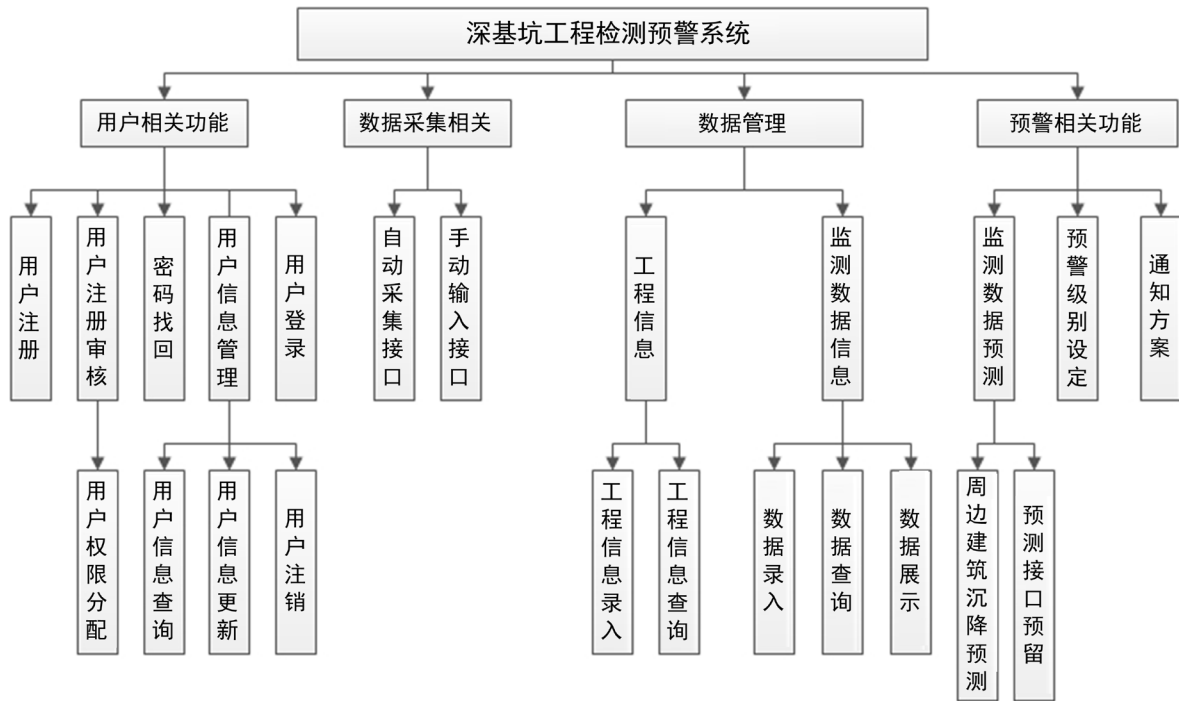


Figure 1. Functional demand map of monitoring and early warning system for deep foundation pit engineering
图 1. 深基坑预警系统功能需求图

用户相关功能：包括用户的注册权限管理，密码管理，用户信息的管理以及登录功能。

数据采集相关的接口：对于深基现场的监测数据比较复杂，有的数据可以通过自动测量装置获取，如地下水位，应力以及深层水平位移，而有的数据要求精度比较高，由于自动化水平受限，必须通过人工进行测量，如地面沉降，顶部水平位移等，所以本系统提供自动采集接口和手动输入接口，进行多种数据的采集。

数据管理功能：本系统可以对多个工程进行同时监控，所以提供不同工程的数据的录入查询功能；对于每个工程，有多种现场的监测数据，本系统提供各类数据的录入，历史查询以及实时图表展示等功能。

预警相关功能：本系统基于历史监测数据采用灰色模型进行预测，提供预警功能，并设定三种报警级别，并通过该系统将报警信号及时通知相关人员。

3. 关键技术

3.1. 改进的灰色模型预测技术

3.1.1. 灰色模型概述

灰色系统理论是利用离散数据建立微分方程形式的动态模型，同时由于该模型是非唯一的，近似的，所以被称为灰色模型，记为 GM。也就是说灰色模型是利用离散随机数经过数学变化，进行推导将随机性显著削弱，变成较为有规律性的生成数，建立起的微分方程形式的模型，便于对变化的过程进行描述，并加以研究[4]。

灰色预测是指利用灰色模型对系统的发展规律进行估计预测，同时可以根据某短时间内的发生的事件，对未来事件的分布做出研究等等。这些工作实际上都是将“随机过程”当做了灰色过程，将“随机变量”当做了灰变量，并主要利用灰色系统理论中的 GM (1,1)模型进行处理，在工业，农业，商业的各个领域具有广泛的应用。特别是依据目前已有的数据对未来到的发展趋势做出预测分析[5]。

3.1.2. 改进的 GM (1,1) 预测步骤

1) 建模可行性分析

为了保证 GM (1,1) 建模方法的可行性, 需要对已知数据做必要的检验处理。

假设原始的历史数据数列为 $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5), \dots, x^{(0)}(n))$, 计算数列的级比

$$\gamma(k) = \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k-1)}, k = 2, 3, 4, 5, \dots, n。$$

如果所有的级比都落在可容覆盖区间 $X \in \left(e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}} \right)$ 内, 则数列 $x^{(0)}$ 可以建立 GM(1,1) 模型, 进行灰色预测。

2) GM (1,1) 建模

假设 $x^{(0)}$ 数列满足(1)的要求, 以其为数据列, 建立 GM (1,1) 模型

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$$

用回归分析求得 a, b 的估计值, 于是相应的白化模型为

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b$$

解得:

$$x^{(1)}(t) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-at} + \frac{b}{a}$$

因此得到预测值:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a}, k = 1, 2, 3, 4, \dots, n-1。$$

3) 模型校验

包括两项校验。

① 残差校验: 计算相对残差

$$\varepsilon(k) = \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)}$$

如果所有的 $|\varepsilon(k)| < 0.1$, 则认为达到了较高的要求, 如果对于所有的 $|\varepsilon(k)| < 0.2$, 则认为达到了一般的要求。

② 级比偏差值校验: 计算

$$\rho(k) = 1 - \frac{1 - 0.5a}{1 + 0.5a} \gamma(k)$$

如果所有的 $|\rho(k)| < 0.1$, 则认为达到了较高的要求, 如果对于所有的 $|\rho(k)| < 0.2$, 则认为达到了一般的要求。

4) 改进预测

经过实验发现, 直接利用灰色模型对原始数据进行预测, 发现误差较大, 且与上次的预测误差值有明显的大小关系, 本文经过多次实验, 利用上一次预测的结果与之后实际测量的误差, 对本次预测结果进行误差的修正, 最终得到的预测结果为:

$$\hat{x}^{(2)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) + (x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k))。$$

3.2. B/S 架构模块化分层技术

基于目前深基坑监测系统大多采用 C/S 架构，C/S 架构的局限性使得工作人员必须在工程现场指定的电脑上，才能看到实际的监测数据，而 B/S 架构可以做到任何时间，任何地点，只要工作人员登录系统，就可以实时看到现场的监测数据。

本系统基于 B/S 架构采用 SSM 框架搭建该系统，SSM 框架是 Spring MVC，Spring 以及 MyBatis 的组合，同时采用前后端分离的粗略，属于 MVC 的设计模式。Spring 是一个开源的轻量级框架，Spring MVC 是 Spring Framework 的后续产品，同时也是原生支持 Spring 特性，使得 Web 开发变得简单高效。Spring MVC 分离了控制器，对象模型，分排气以及程序处理对象的角色，这种分离策略使得他们更加容易定制化，方便开发人员进行编程。MyBatis 是一个基于 Java 的持久层框架，通过 XML 或者注解的方式将接口和 java 中的类与数据库中的记录进行映射。

本系统通过 B/S 架构的模块化技术，按层次和模块进行划分，划分为如下图 2 所示的 Controller 层，Service 层以及 Dao 层，Controller 层负责从 PC 端或者现场设备接收请求，解析请求，交由 Service 层处理，Service 层根据需求进行分析处理，交由 Dao 层进行数据库的增删改查操作。同时将预测子模块集成到 Service 层，进行分析预测，将结果交由 Controller 层，并展示在前端页面中[6]。

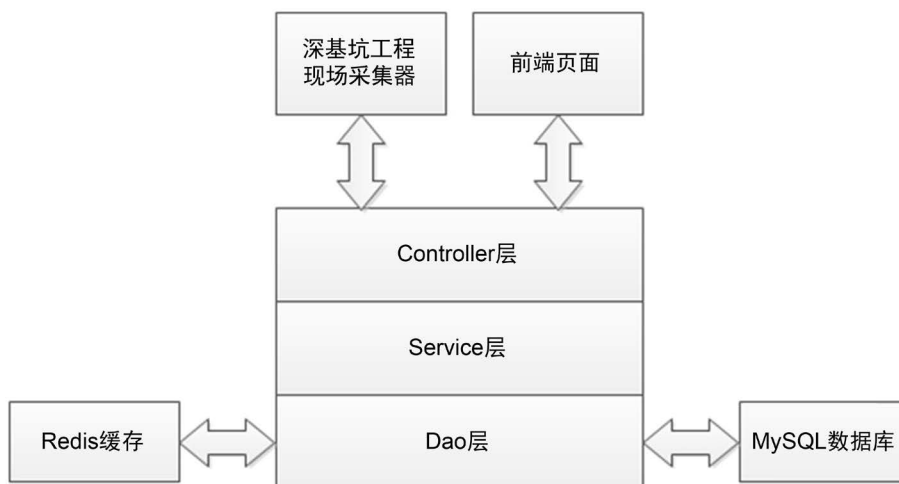


Figure 2. System hierarchy diagram

图 2. 层次结构图

4. 系统设计与实现

4.1. 系统总体架构设计

根据系统的实际需要以及甲方的要求，本系统采用如图 3 所示的总体架构设计。整个系统采用微服务化的特点[7]，包括数据的采集，数据的存储，数据的分析处理，后台服务以及人机交互模块构成。

数据可以分为数据采集器自动采集的数据以及目前为止无法自动采集需要手动测量的数据，对于采集器自动采集的数据，通过 http 协议发送到服务器，对于目前无法自动化采集的数据，本系统提供一个接口，目前通过前端输入到服务器。

从高可用考虑，防止后台服务器的负载过大，出现单点问题，采用服务器集群来提高系统的可用性，同时采用 Nginx 服务器做负载均衡，进行反向代理，无论是深基坑工程本地服务器的数据传输请求，还是人机交互客户端终端的数据查询请求，都经过 Nginx 反向代理服务器，将请求均衡地分给后端服务器处理。

为了满足实时性的要求, 采用 Redis 数据库做缓存, 提高数据的实时显示, 同时为了保证可靠的实时性, 防止出现单个 Redis 服务器崩了, 实时性就得不到保证, 我们采用 Redis 的 Cluster 模式集群 Redis 数据库, 提高 Redis 的可用性以及整个系统的实时性。

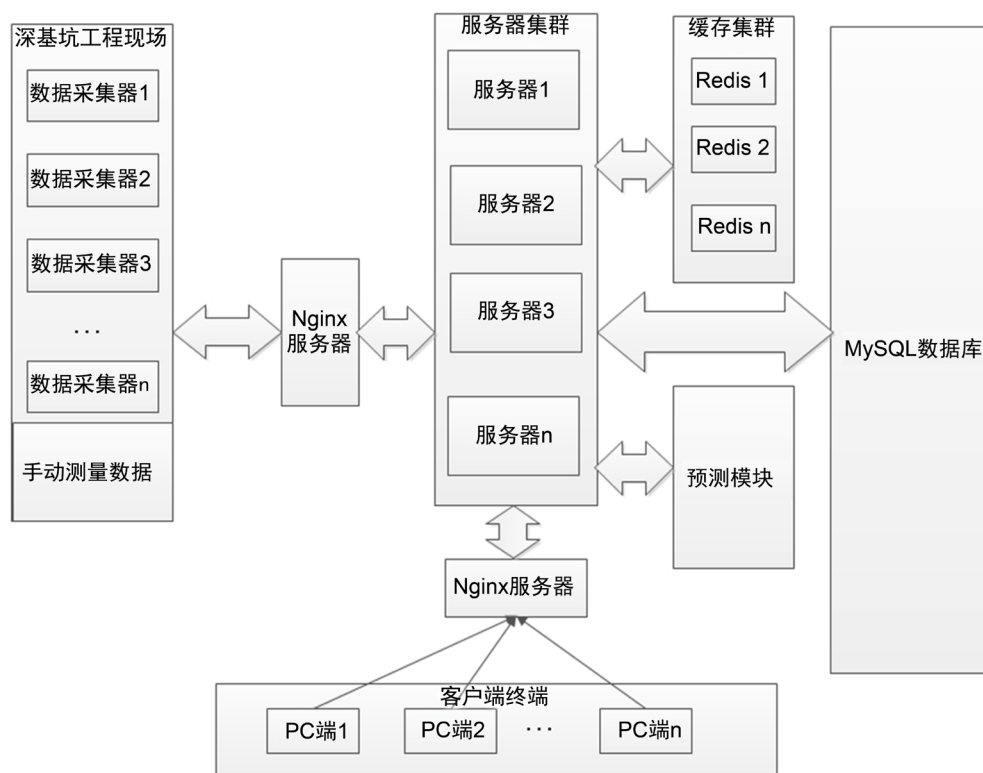


Figure 3. System architecture design
图 3. 系统总体架构设计图

4.2. 系统主要功能模块的设计与实现

4.2.1. 数据采集模块

根据需求以及《GB50497-2009 建筑基坑工程监测技术规范》中对建筑基坑工程仪器监测项目的规定[8], 基坑现场应测项目有: 围护墙(边坡)顶部水平位移, 围护墙(边坡)顶部竖向位移, 深层水平位移, 立柱竖向位移, 支撑内力, 锚杆内力, 地下水位, 周边地表竖向位移, 周边建筑相关参数等。有些位移, 内力, 水位都可以通过斜侧仪, 水准仪, 水位计, 测力计等进行采集测量, 根据目前物联网的发展状况[9], 我们可以对深层水平位移, 地下水位, 锚杆内力, 支撑内力利用自动化装置进行自动测量, 但是对于周边建筑的沉降, 围护墙顶部水平位移等目前无法通过装置进行自动测量, 通过人工进行观测。

如下图 4 所示, 本系统对于这两种数据的采集配套两种接口, 自动采集接口和手动上传接口。自动采集接口可以利用自动化装置直接通过 http 协议发送到后端服务器, 后端服务器对数据的类型和数值进行解析获取; 手动上传接口则在前端页面提供上传页面, 监测人员可以将自己采集到的数据通过指定格式的文件进行上传, 后端服务器解析文件, 获取监测数据。随着科技的发展, 有些数据会逐渐可以通过自动化装置进行采集, 此时本系统也预留了自动采集的接口, 自动化装置只需要按照指定的数据格式进行发送数据, 即可集成到该系统中。

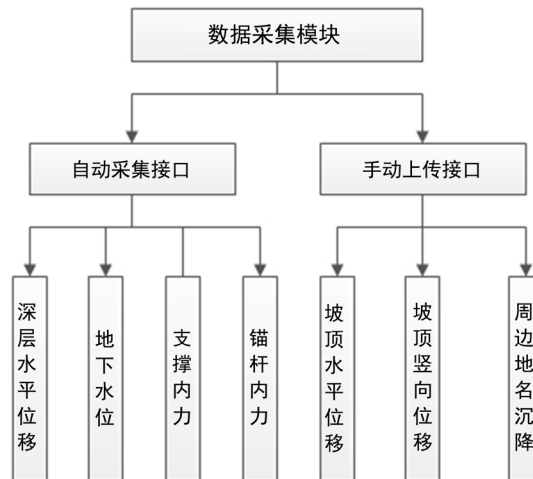


Figure 4. Data acquisition module design
图 4. 数据采集模块设计图

4.2.2. 存储模块

本系统对于采集器的数据需要进行存储，一方面为了留档，另一方面为了能够在页面进行图表显示，供相关人员进行查看。本系统将监测数据直接发送到后端服务器，在数据库中进行存储，存储方案如下：

常规数据的持久化可以采用 MySQL 数据库。原因有三个：第一从成本上考虑，MySQL 是免费的。第二从项目本身考虑，数据量比较大，并发性比较高，MySQL 支持事务的操作，同时对高并发的读写也提供了很好的支持。第三从系统可用性考虑，MySQL 可以做主从配置，主服务器进行写操作，从服务器进行读操作，可以加快数据的查询效率，同时也可以做多个主从的 MySQL 服务器集群，提高系统的可用性。

本系统使用 Mybatis 以及相关的组件整合 MySQL，对常规数据进行增删改查的操作。其中常规数据模型主要有三个，表 1 所示的地下水位记录信息，表 2 所示的深层水平位移记录信息，以及表 3 所示的支撑应力记录信息。

Table 1. Groundwater level record information table data model

表 1. 地下水位记录信息表数据模型

名称	类型	长度	PK	备注
id	int	11	primary key	主键
section	varchar	24	no	工程标段
pointId	int	11	no	测量点序号
date	date	default	no	测量时间
groundwater	double	(16, 2)	no	地下水位(mm)

Table 2. Deep horizontal displacement record information table data model

表 2. 深层水平位移记录信息表数据模型

名称	类型	长度	PK	备注
id	int	11	primary key	主键
section	varchar	24	no	工程标段
pointed	int	11	no	测量点序号
depth	int	11	no	测量深度(m)
date	date	default	no	测量时间
displacement	double	(16, 2)	no	水平位移(mm)

Table 3. Support stress record information table data model
表 3. 支撑应力记录信息表数据模型

名称	类型	长度	PK	备注
id	int	11	primary key	主键
section	varchar	24	no	工程标段
pointed	int	11	no	测量点序号
date	date	default	no	测量时间
stress	int	11	no	力的大小(N)

数据的缓存存储可以采用 Redis 数据库。原因有以下几点：第一从系统的响应速度考虑，数据如果都要从 MySQL 中读取显示，那相应速度就降低了，Redis 是内存型数据库，访问速度远远高于数据库的磁盘操作，所以可以用 Redis 来提高系统的响应性。第二从容灾性考虑，一般的缓存没有持久化的操作，一旦崩了就不能恢复，而 Redis 不仅支持持久化操作，和 MySQL 一样，还支持集群模式，可以提高缓存服务器的容灾性。

4.2.3. 预测报警模块

在《GB50497-2009 建筑基坑工程监测技术规范》中，每一个监测项目都有预警值[8]。本系统对每个监测项目都有一个实际的监测值，如果监测值达到了预警值，系统进行报警。另外本系统基于灰色系统理论，对监测项目(周围建筑物沉降量)做预测分析，如果预测值达到了预警值，同样给出报警，及时通过短信以及邮件的方式通知相关的人员。

查看周边建筑物的沉降的监测数据可以发现，沉降量随着时间有一定的规律性，本系统利用上述改进的灰色系统理论对其进行预测，灰色系统理论建立在对监测数据建模的基础上，所要求的数据量不是很大，要求观测数据量只需要大于 4，就可以建立灰色模型 GM。灰色模型预测所需要的数据量比较小，便于系统的数据处理，数据样本可随机分布，所需要的数据处理复杂度较低，简单实用，同时精度和准确度都比较高，对于本系统具有很好的适应性。因此基于灰色系统理论，本系统对周边建筑物的沉降提供了预测分析[10][11]。

如图 5 所示，本系统的预测报警模块分为如下几个重要组成部分：预测分析接口，预测算法，以及报警方式。



Figure 5. Forecast alarm module design

图 5. 预测报警模块设计图

灰色模型预测关键代码如下：

```

#建立灰色预测模型
XX0 = np.zeros(n)
XX0[0] = X0[0]
for i in range(1,n):
    XX0[i] = (X0[0] - b / a) * math.exp(-a*(i)) + b / a;
  
```


同时本系统提供了预测分析接口，目前只对周围建筑物沉降量做了预测分析，后续的系统改进中，如果需要别的监测项目进行预测，同样适用，只需要给定输入的序列，规范中该检测项目的预警值即可；对于预测算法，本系统也采用了插拔式的设计，目前基于灰色系统预测做了实现，后续的系统如果需要用到别的预测算法，也可以集成到本系统中，只需要对输入输出数据的序列进行特定的处理即可；对于报警方式，本系统利用简单有效的邮件和短信的方式进行了实现。

4.2.4. Web 服务模块

如图 6 所示，本系统 Web 服务模块主要包括负载均衡服务器，Web 应用服务器，Mysql 数据库，Redis 内存数据库和人机交互客户端。其中负载均衡服务器采用 Nginx，内部采用原地址哈希的负载均衡算法进行分发不同的请求，保证在高并发的情况下，同一个客户端的多次请求能够始终被发送给同一台应用服务器进行处理；应用服务器采用的是 Tomcat，主要实现的是用户的注册登录，权限管理，数据的分析处理，同时将预测模块集成在其中，进行预测分析，必要的时候做出警报发送短信和邮件；数据库采用的是 MySQL + Redis 的组合，对于常规数据，我们将其存放到数据库中，进行持久化存储，对于客户端经常访问的数据，我们将其放在 Redis 中，提高响应的速度，同时采用 Redis 自带的 LRU 策略进行缓存的更新，保证 Redis 中缓存的数据都是最新的数据；客户端包括人机交互的浏览器以及现场的数据采集器设备客户端，对于现场的数据采集设备，通过发送 HTTP 请求到 Nginx 服务器，Nginx 服务器将现场的数据分发到不同的后台服务器进行分析处理，并入库；对于浏览器，联网的机器只需要登录指定网址，即可访问本系统，用户可以通过浏览器查看实时数据曲线，查询历史的数据曲线图，上传手工测量的数据的文件，以及直接在页面获取报警的信号。

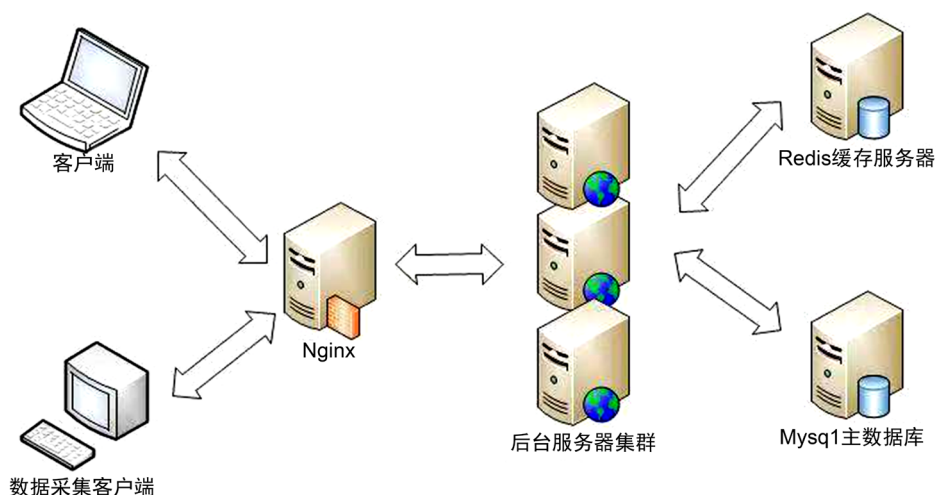


Figure 6. Web server module design
图 6. Web 服务器模块设计图

5. 结果分析与测试

5.1. 改进灰色模型预测结果对比

以广州地铁燕塘站建筑物沉降 Z70 观测点第 1~27 周的数据作为本次预测对比实验的原始数据。

1) 普通灰色模型预测处理方法

输入为前 7 周的数据，预测当前周的监测数值，对于第 8~27 周的监测值进行滚动预测。如采用 2~8 周的监测值作为已知量，预测第 9 周的监测值；采用 3~9 周的数据预测第 10 周的监测值。

2) 改进的灰色模型预测处理方法

改进后, 同样利用前七周的监测值预测当前周次的监测值, 但是需要按照上述改进方法, 对预测结果进行误差的修正。

建立模型后, 检验结果如表 4 所示。

Table 4. Forecast contrast checklist

表 4. 预测对比检验表

周次	测量值	灰色模型预测	相对误差	改进灰色模型预测	相对误差
9	9.17	10.98	19.76%	8.98	-2.09%
10	9.8	11.14	13.72%	9.33	-4.77%
11	10.2	11.25	10.29%	9.90	-2.90%
12	11.1	11.19	0.81%	10.14	-8.65%
13	12.3	11.69	-5.00%	11.60	-5.72%
14	13.17	12.95	-1.68%	13.56	2.99%
15	15.27	14.12	-7.53%	14.34	-6.08%
16	17.23	16.27	-5.60%	17.42	1.08%
17	19.34	18.86	-2.46%	19.83	2.52%
18	20.47	21.54	5.22%	22.01	7.54%
19	20.93	23.30	11.31%	22.23	6.21%
20	21.5	23.90	11.15%	21.53	0.15%
21	21.9	23.70	8.23%	21.30	-2.72%
22	22.1	23.36	5.71%	21.56	-2.44%
23	22.2	22.95	3.38%	21.69	-2.30%
24	22.3	22.79	2.21%	22.04	-1.16%
25	22.4	22.75	1.54%	22.25	-0.66%
26	22.6	22.65	0.22%	22.31	-1.30%
27	22.7	22.70	0.01%	22.65	-0.21%

实验结果预测趋势如下图 7 所示:

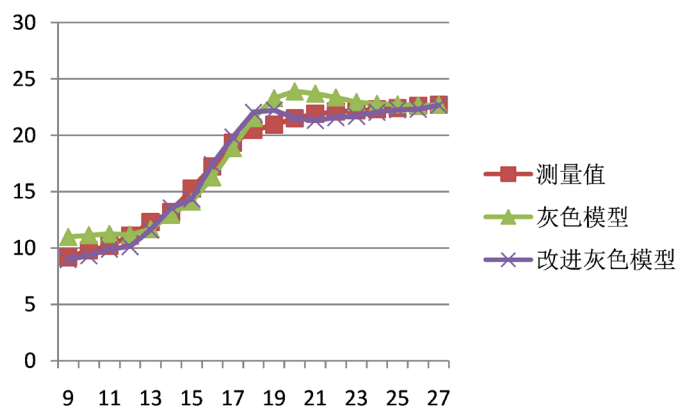


Figure 7. Comparison of prediction results

图 7. 预测结果对比示意图

从以上图表来看,改进后的灰色模型相对于普通的灰色模型,无论从预测的相对误差,还是图中的趋势可以看出,改进后的灰色模型在广州地铁燕塘站建筑物沉降 Z70 观测点实测的数据上,能够更准确的进行预测,同时预测趋势更贴合实际的测量值发展趋势。

5.2. Web 后台压力测试

本系统基于 maven 进行开发,很轻易的可以引入 jar 包,ContiPerf 轻量级的测试工具进行压力测试,其基于 JUnit4 开发。可以指定线程数量和执行次数,通过限定最大的响应时间和平均执行的时间来进行性能测试。同时可以生成性能测试报告,帮助开发者用作性能分析。使用方法如下:

①在 maven 配置文件中引入 org.databene:contiperf:2.3.4jar 包

②单元测试类里面使用 @Rule 注解激活 ContiPerf

```
@Rule
```

```
public ContiPerfRule i = new ContiPerfRule();
```

③使用 @PerfTest 和 @Required 注解

```
@PerfTest(invocations = 3000, threads = 20)
```

```
@Required(max = 1200, average = 250, totalTime = 6000)
```

其中 invocations 表示执行次数,threads 表示并发线程数,max 限制了最大时间,average 要求了平均时间,totalTime 要求了总的执行时间。

测试报告如下图 8 所示:

```
Started at: 2019-12-7 15:31:38
Measured invocations: 3,000
Thread Count: 40

Measured Required
(system)
Execution time: 1,670 ms 6,000 ms
Throughput: 1,796 / s
Min. latency: 20 ms
Average latency: 21 ms 250 ms
Median: 21 ms
90%: 23 ms
Max latency: 52 ms 1,200 ms
```

Figure 8. Comparison of prediction results

图 8. ContiPerf 性能测试报告

从上述报告中可以看出,后台使用 Tomcat 作为后端服务器,每秒效率 TPS 为 1796,平均响应时间为 21 ms,性能满足需求。因此后端能够提供良好的服务。

5.3. 主要展示功能测试

由于本系统尚未投入到实际的工程项目中,界面展示的数据仅仅为测试数据,当投入到实际项目中,数据将自动更新为实际的监测数据。

本系统主要的功能是实时监测以及报警功能,如图 9 所示,为本系统的实时监测页面,其中各个监测参数以折线图的形式展示出来,方便用户看随着时间发展的趋势,同时在下方便有报警指示灯,当实际监测值达到报警值,或者与测试值达到报警值时,该指示灯变成红色,同时后台及时发送短信以及邮件给相关负责人。

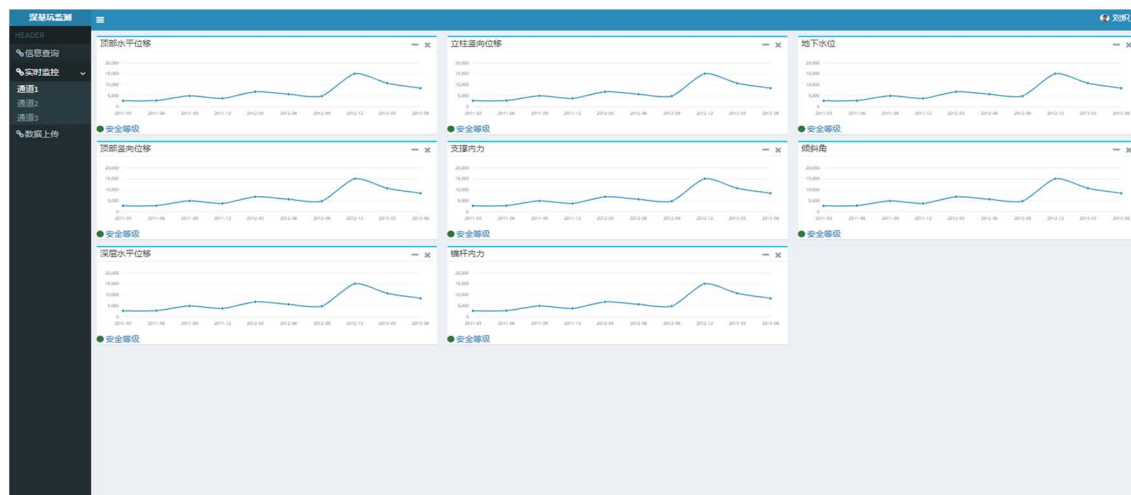


Figure 9. Real-time monitoring and alarm

图 9. 实时监控与报警

6. 结束语

本文设计的监测预警系统集成了基于改进灰色模型对周边建筑物沉降的分析预测模块，通过实验对比发现，相较于普通的灰色模型更加符合工程监测的数据趋势；实现了深基坑工程的各个监测项目的实时监测与显示，监测数据信息的管理，以及报警等的功能，满足了目前深基坑工程监测的基本需求；同时预留了数据传输的接口，对于目前是手工测量，但是今后随着科学技术的发展，会发展成自动测量的监测项目，日后可以集成到本系统中去；预留了预测算法的接口，目前只用了灰色预测算法对深层位移进行预测分析，今后可以对于其余的监测项目进行研究，增加新的预测算法，同时对其进行预测。最后的性能测试保证了今后系统运行的稳定性以及可靠性，能够承受足够的并发压力。

基金项目

本工作得到了江苏省自然科学基金(BE2016805)的支持。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 危险性较大的分部分项工程安全管理规定[Z], 2009.
- [2] 夏乐乐. 深基坑安全监测信息分析系统的开发与应用[J]. 现代物业(中旬刊), 2018(4): 66-67.
- [3] 何兴刚. 自动化监测系统在深基坑监测中的应用[J]. 绿色环保建材, 2019(10): 52+54.
- [4] 韩富圆, 裴旭, 罗晓飞. 基于灰色系统 GM (1,1)千将坪滑坡变形监测分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(5): 129-132.
- [5] 黄任宏, 李程程. 灰色系统理论在工程实践中应用研究[J]. 科学技术创新, 2019(13): 4-6.
- [6] 周二众, 刘星, 青舟. 深基坑监测预警系统的研究与实现[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(1): 204-210.
- [7] Suryotrisongko, H., Jayanto, D.P. and Tjahyanto, A. (2017) Design and Development of Backend Application for Public Complaint Systems Using Microservice Spring Boot. *Procedia Computer Science*, **124**, 736-743. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.212>
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB50497-2009 建筑基坑工程监测技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- [9] 朱茂国. 某地铁深基坑工程监控量测与数据分析[J]. 天津建设科技, 2017, 27(3): 67-69.
- [10] 聂建省. 基于灰色理论的深基坑变形监测分析[J]. 价值工程, 2019, 38(16): 129-131.
- [11] 刘盛辉, 李常茂, 薛晓辉. 深基坑变形预测模型研究及工程应用[J]. 河南建材, 2019(3): 32-33.