

赵睿,程鑫,徐晓辉,等. 基于 PSO-SVR 模型的温室病害预警防治系统[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 854-860.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.006

## 基于 PSO-SVR 模型的温室病害预警防治系统

赵睿, 程鑫, 徐晓辉, 宋涛, 孙圆龙

(河北工业大学电子信息工程学院, 天津 300401)

**摘要:** 为了解决温室植物病害预警、防治不及时的问题,设计了一种基于粒子群优化的支持向量机(PSO-SVR)模型的温室物联网预警系统。系统通过对观测数据进行分析训练,进而建立起植物病害预警模型,根据预测结果,结合易产生黄瓜病害的环境参数范围选择是否向用户发出预警警报,利用温室物联网控制技术实现对植物病害的生态防治。同时系统可以向搭载 Android 平台的设备发送提醒消息,并可以进行远程监控。该系统利用 Wi-Fi 技术将传感器系统和嵌入式设备组成星型网络,根据传感器返回的有效环境参数数据,通过 PSO-SVR 模型对温室温度、湿度参数进行预测,预测准确率分别为 97.6%、96.8%,可以用作理论指导。测试结果表明,该系统响应时间短、运行稳定,可有效地监测并预测温室环境参数,对于植物病害的防治有较好的实际作用。

**关键词:** PSO-SVR 模型; RBF 核函数; 参数预测; 预警模型

**中图分类号:** S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)04-0854-07

## Early warning and prevention system for plant diseases in the greenhouse based on particle swarm optimization-support vector regression (PSO-SVR) model

ZHAO Rui, CHENG Xin, XU Xiao-hui, SONG Tao, SUN Yuan-long

(School of Electronic and Information Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

**Abstract:** To solve the problems of lags in early warning and plant diseases prevention in the greenhouse, an early warning system of internet of things in the greenhouse based on particle swarm optimization-support vector machine (PSO-SVR) model was designed. Early warning model of plant diseases was established by the system through analyzing and training of the observed data. According to the predicted results and the scope of environmental parameters which were easy to cause cucumber diseases, the system could select whether to send early warnings to the users or not by control technology for internet of things in the greenhouse to realize ecological control of the plant diseases. At the same time, the system could send reminding messages to devices equipped with the Android platform, and could perform remote monitoring and control. The system used Wi-Fi technology to form the star network with the sensor system and the embedded device. According to the effective environmental parameter data returned by the sensor, the PSO-SVR model was used to predict the greenhouse temperature and humidity, and the prediction accuracies were 97.6% and 96.8% respectively, which could be used as theoretical direction. Test results showed that, the system responses with small time and is stable in operation, and can monitor and predict greenhouse environmental parameters effectively, which has a good practical effect on the prevention and control of plant diseases.

收稿日期: 2020-12-15

基金项目: 河北省重点研发计划项目(19227212D、20327201D); 石家庄市重点研发计划项目(191490144A、191130154A)

作者简介: 赵睿(1995-), 女, 河北邢台人, 硕士研究生, 研究方向为电子技术与智能系统。(E-mail) Zhao\_ruiGZ@163.com

通讯作者: 徐晓辉, (E-mail) xxh@hebut.edu.cn

**Key words:** particle swarm optimization-support vector regression (PSO-SVR) model; RBF kernel function; parameter prediction; early warning model

温室作为我国设施农业的主要应用场所, 被广泛应用于果蔬、花卉等农作物的生产中。建设现代

化温室的主要目的是实现不同季节农产品的持续供应,对于温室环境的监测与控制一直是研究重点之一<sup>[1]</sup>。

目前现代化温室主要利用物联网技术实现对环境的监测。国外已经实现连栋式现代化大型温室,如日本农户可以通过 NEC、日立等公司研发的物联网技术,在家中的电脑或手机上实现温室环境数据监测和控制<sup>[2-3]</sup>。国内对于温室物联网的研究也趋于成熟。杨文奇等<sup>[4]</sup>研发了一种温室物联网实时监测系统,可以监控温室环境因子。朱均超等<sup>[5]</sup>建立了基于物联网的大棚远程检测系统,可以对农业大棚的环境参数进行远程监测。综上所述,目前中国的温室物联网已经具备了对环境的实时、远程监控功能。

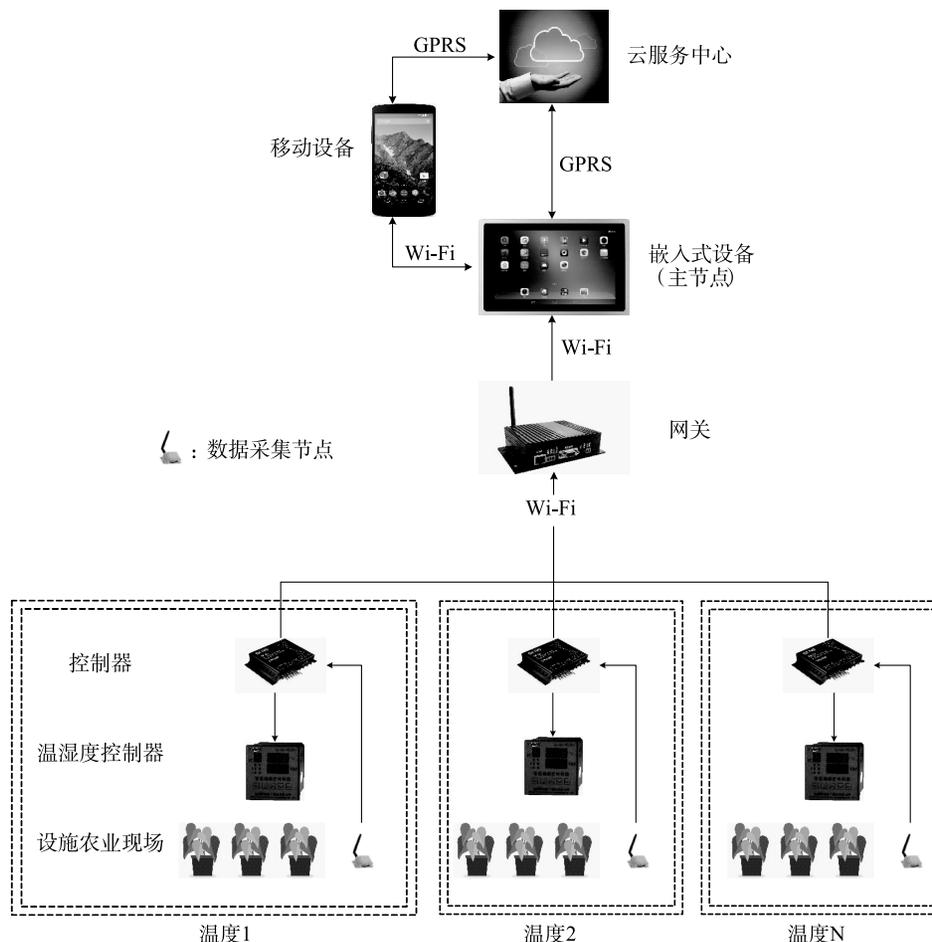
但是目前我国对于环境参数的利用还多停留在

监测阶段,不能为生产环境的变化提供指导<sup>[6]</sup>。对于预警方法也多停留在根据当前温室环境参数发出警报阶段。这样的预警方式不仅效率低,而且不够智能化<sup>[7]</sup>。许多学者在温室内部环境参数的预测方面取得了一定进展,并且应用到了预警方法中<sup>[8-10]</sup>。本研究在已有温室环境参数的实时监测基础上,增加环境参数预测功能,利用粒子群优化的支持向量机(PSO-SVR)模型建立预警方法,并利用物联网技术实现自动化生态防治。

## 1 系统组成和工作原理

### 1.1 总体设计

本系统主要利用温室物联网技术<sup>[11-12]</sup>,系统的总体设计如图 1 所示。



GPRS:通用无线分组业务。

图 1 预警系统设计

Fig.1 Design of early warning system

系统通过在农业设施现场布置的环境数据采集节点收集环境数据,通过网关传给远程嵌入式设备,

搭载 Android 的嵌入式设备通过 PSO-SVR 模型进行温湿度预测,当温湿度达到阈值时发出预警警报并

将信息传递至移动设备。系统同时可以进行自动温湿度调控,在发出预警警报后,可自动进行升温除湿,也可以选择关闭该功能,对其进行手动控制。

### 1.2 数据采集节点

数据采集节点框图如图 2 所示。

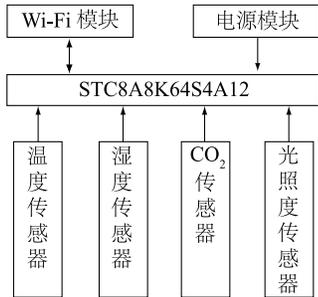


图 2 数据采集节点框图

Fig.2 Block diagram of data acquisition node

数据采集节点处理器采用 STC8A8K64S4A12 芯片;Wi-Fi 模块选用低功耗、体积小、稳定性高的 USR-C215 模块,支持 802.11 b/g/n 标准,传输距离为 200~300 m。

空气温度传感器选用 DS18B20 模块,测量范围为 -55~125 ℃,测量精准度为 0.5 ℃;空气湿度传感器选用 DHT11 模块,测量范围为 20%~95%,测量精准度为 5%;土壤温湿度传感器选用 ZZ-S-GTH-C 模块,测量精准度分别为 0.5℃、3.0%;光照度传感器选用 BH1750FVI 模块,测量范围为 0~65 535 lx;CO<sub>2</sub> 体积比传感器选用 MG811 模块,测量范围为 0~10 000 μl/L。

### 1.3 数据去噪

在温室环境中,环境参数传感器内部损坏、电源波动、电路噪声等原因,可能会导致其输出信号发生变化,产生不准确的输出。本系统采用一种基于 Greubbs 检验的均值法,降低噪声干扰(图 3)。

### 1.4 通信方式

整个系统的通信可以分为 2 个部分:以嵌入式设备为分界点,上层嵌入式设备、云服务中心、移动设备为基于 HTTP 协议的 B/S 通信方式;嵌入式设备和下位机之间为基于 SOCKET+TCP 的 C/S 通信方式<sup>[13-14]</sup>。

## 2 温室预警方法

### 2.1 PSO-SVR 模型

SVR 是使用 SVM(Support vector machine,支持

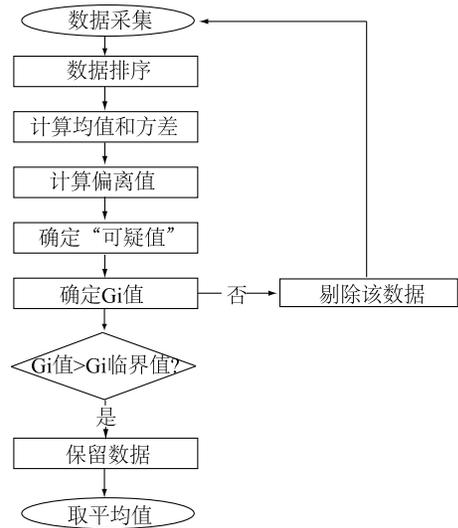


图 3 数据去噪流程图

Fig.3 Flow chart of data denoising

向量机)拟合曲线的一种方法<sup>[15]</sup>,常用作回归分析,具有小样本、非线性、高维模式识别等特点<sup>[16]</sup>。PSO 属于群体优化算法,PSO 算法流程如图 4 所示。

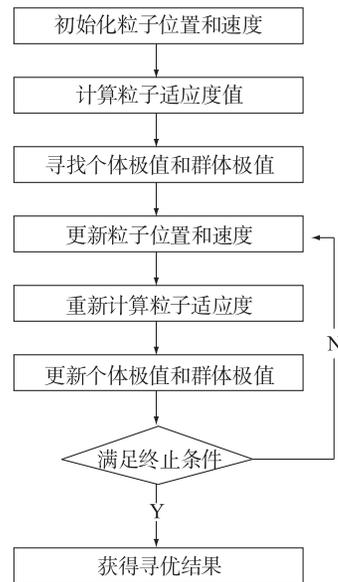


图 4 PSO 算法流程

Fig.4 Flow chart of particle swarm optimization (PSO) algorithm

使用 PSO 算法对 SVR 的惩罚参数 *c* 和核函数参数 *g* 进行寻优,提高模型的鲁棒性,降低训练的复杂度。PSO-SVR 模型的建立流程如图 5 所示。

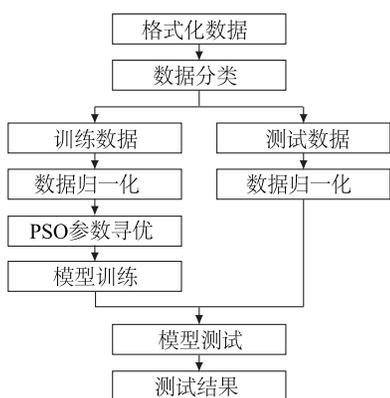


图5 PSO-SVR 模型建立流程

Fig.5 Flow chart of particle swarm optimization-support vector regression (PSO-SVR) model establishment

### 2.2 PSO-SVR 模型的输入与预处理

模型的输入采用滑动窗口模型。如图6所示,将数据按照时间序列形成数据流,滑动窗口模型的核心是保持窗口尺寸不变,窗口内的时间序列数据为参与的自变量,窗口右侧始终为预测值。通过试验,选取窗口长度为4。

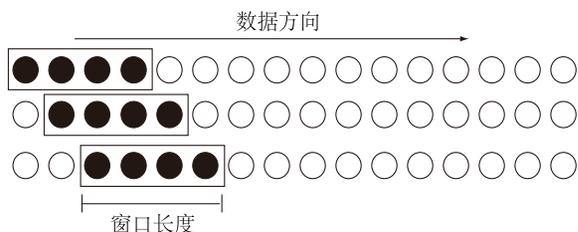


图6 滑动窗口模型

Fig.6 Sliding window model

滑动窗口模型将数据标准化后,再使用 min-max 方法进行归一化处理,其表达式为:

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

### 2.3 PSO-SVR 模型的训练、测试及分析

对天津市某黄瓜温室 2019 年 10 月 1 日至 2019 年 10 月 31 日的温湿度数据进行训练研究,分为 427 组训练数据和 44 组测试数据,训练数据为每日中 2 h 数据,具体数据如图 7、图 8 所示。

PSO 利用 Matlab 环境下的 Libsvm-FarutoUltimate 工具包,设置局部搜索能力  $c_1 = 1.5$ ,全局搜索能力  $c_2 = 1.7$ ,惯性权重因子  $w = 1$ ,最大种群数量  $sizepop = 20$  和最大进化数量  $maxgen = 200$ 。寻优得到如下结果: $c = 32, g = 0.93$ 。

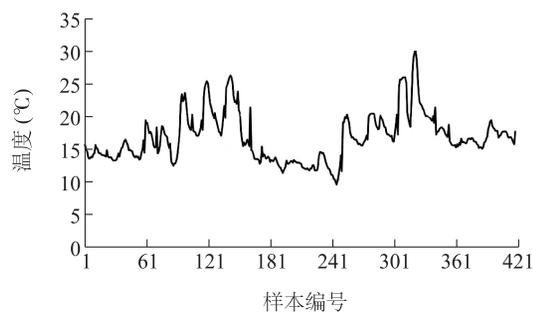


图7 温度训练数据

Fig.7 Temperature training data

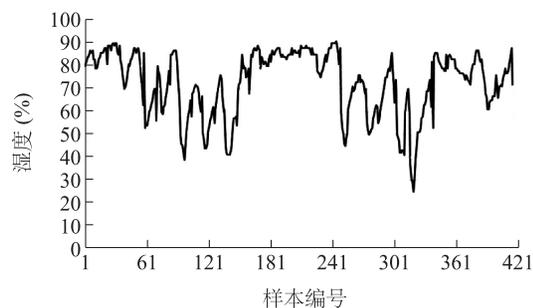


图8 湿度训练数据

Fig.8 Humidity training data

SVR 模型使用的是台湾林智仁 (Chih-Jen Lin) 教授等开发的软件包 LIBSVM。需要设置的参数除了经过 PSO 寻优得到的惩罚参数  $c$ 、核函数参数  $g$ , 还有核函数类型,核函数的数学表达式如表 1 所示。

表1 核函数的数学表达式

Table 1 Mathematical expressions of kernel functions

核函数名称	数学表达式
线性核函数 (Linear)	$K(x, y) = x \cdot y$
多项式核函数 (Polynomial)	$K(x, y) = (x \cdot y + 1)^d$
径向基函数 (RBF)	$K(x, y) = \exp\left\{-\frac{ x-y ^2}{\sigma^2}\right\}$
激活函数 (Sigmoid)	$K(x, y) = \tan h[v(x, y) + c]$

分别使用 4 种核函数进行试验,将训练和测试后的准确性指标  $MSE$  (Mean squared error, 均方误差) 和  $R^2$  (Squared correlation coefficient, 决定系数) 的平均值进行对比,结果如表 2 所示。

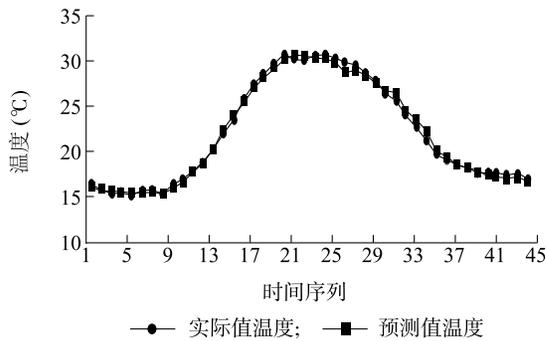
经过对比可以看出,选用 RBF 核函数时,模型效果最好,拟合度最高。通过分析测试值和实际值可知,温度平均相对误差为 2.4%,湿度平均相对误差为 3.2%,预测准确率分别为 97.6% 和 96.8%。测试值和实际值的曲线对比如图 9、图 10 所示。

表2 不同核函数试验结果对比

Table 2 Comparison of test results of different kernel functions

核函数类型	温度		湿度	
	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>
线性核函数(Linear)	0.15	0.95	0.17	0.93
多项式核(Polynomial)	1.85	0.84	1.33	0.87
径向基函数核(RBF)	0.12	0.99	0.14	0.98
激活函数(Sigmoid)	0.29	0.94	0.27	0.92

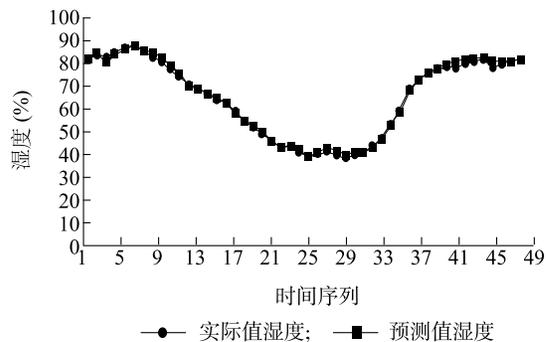
MSE:均方误差;R<sup>2</sup>:决定系数。



1~45:组别。

图9 温度测试结果曲线对比

Fig.9 Curve comparison of temperature test results



1~45:组别。

图10 湿度测试结果曲线对比

Fig.10 Curve comparison of humidity test results

### 2.4 温室环境预警方法

结合韩振荣<sup>[17]</sup>的研究结果,建立了温室黄瓜霜霉病、角斑病、白粉病3种病害的温湿度预警模型,警报分为黄色警报、橙色警报和红色警报(表3)。

系统每30 min收集1次环境参数数据,若当前环境参数和预测环境参数均达到预警模型阈值,则发出相应的预警提醒,通知用户及早对病态植株进行隔离或者治疗。在警报为橙色或红色时系统作出相应的自动控制决策(白天升温至25~30℃,夜间除湿至35%~40%),将环境条件控制在适宜病害发

生的范围之外,做到生态防治。预警方法流程如图11所示。

表3 黄瓜病害环境参数预警模型

Table 3 Early warning model of environmental parameters of cucumber diseases

病害种类	警报等级		
	黄色警报	橙色警报	红色警报
霜霉病	空气温度 15~20℃ 空气湿度>85%	空气温度 20~25℃ 空气湿度 60%~85%	空气温度 20~25℃ 空气湿度>85%
角斑病	空气温度 15~25℃ 空气湿度<75%	空气温度 15~25℃ 空气湿度 75%~90%	空气温度 15~25℃ 空气湿度>90%
白粉病	空气温度 16~24℃ 空气湿度<40%	空气温度 16~24℃ 空气湿度 40%~60%	空气温度 16~24℃ 空气湿度 60%~75%

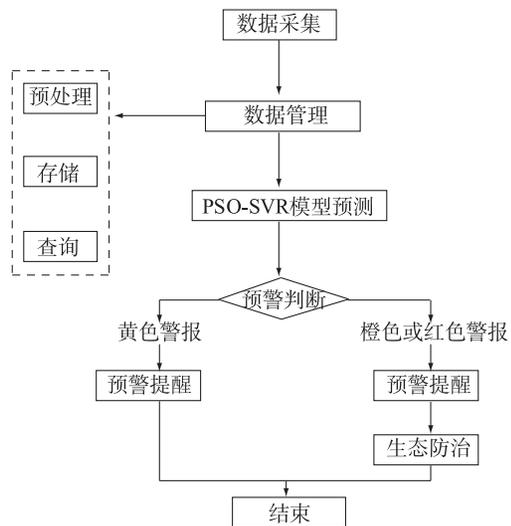


图11 温室环境参数预警方法流程

Fig.11 Flowchart of the early warning method for greenhouse environmental parameters

## 3 结果与分析

### 3.1 嵌入式设备开发

本系统的嵌入式设备选用搭载 Android 平台的开发板,处理器为三星 Exynos4412 四核心,主频为 1.6 GHz,搭载 1 GB 的双通道 DDR3 运行内存,4 GB 固态硬盘 EMMC 存储。开发环境选取 Android Studio 2.3.3,Java JDK(Java development kit),版本为 1.8.0;数据库管理选用 Android SDK 的 platform-tools 目录下的 sqlite3.exe 文件,可以执行类似 MySQL 提供的命令行窗口。

APP 客户端的开发模式选用 Android 常用的 MVP 模式。在软件开发中,通常使用 MVC 模式,但是在 Android 开发中,Activity 的存在不能明确地区分 View 和 Controller,因为其本身具有 View 和 Controller 二者的性质,如果采取 MVC 模式开发,会使 Activity 的耦合性变得很高。当后期维护时,可能需要改动整个 APP 代码。

MVP 模式较好地解决了 MVC 的弊端,Model 和 View 通过 Presenter 进行交互,这时 Activity 基本完全充当了 View 的角色,View 和 Model 不直接进行交互,这样使二者的改动更方便,解耦性更强,不会对整个 APP 进行大量的变动(图 12)。

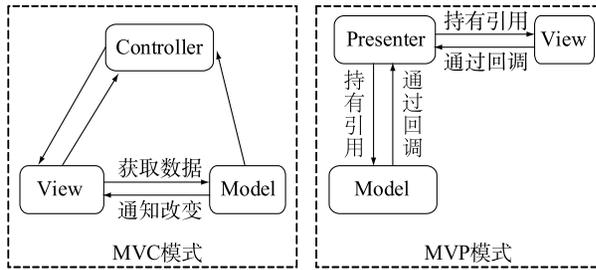


图 12 MVC 模式与 MVP 模式开发对比  
Fig.12 Comparison of MVC model and MVP model

利用 Matlab 和 Android 混合编程,首先利用 Matlab 软件实现 PSO-SVR 模型搭建,并对模型进行完整训练及网络测试,得到优化后的预测模型。将模型的函数、训练结果及训练数据打包成 jar 包,将其添加为 Android 的外部依赖,在 Android 工程中编写调用该 jar 包的接口调用函数,通过传入输入变量得到结果。

APP 客户端的主界面采用 Android 自带的 support-v7 包中的 CardView 作为内容填充,界面简洁美观。在主界面进行下拉刷新即可刷新环境数据,当达到预警范围时,系统会出现 Notification。主界面效果如图 13 所示。

点击 Notification 会进入预警系统界面,显示易生病害警报等级,点击病害会跳转至病害百科界面,显示病害的百度百科。预警界面显示效果如图 14 所示。

点击主界面的卡片,会进入数据可视化界面,本系统利用 MPAndroidChart 框架,实现了当日和昨日的数据显示,可以切换折线图和柱状图。图表的下方显示 PSO-SVR 模型预测结果,即 30 min 和 60 min 后的预测结果。可视化界面效果如图 15 所示。



图 13 APP 客户端主界面效果  
Fig.13 Main interfacial effect of the APP



图 14 预警界面效果  
Fig.14 Interfacial effect of the early warning system



图 15 可视化界面效果  
Fig.15 Visual interface effect

### 3.2 系统测试

系统测试主要分为功能测试和性能测试,均为黑盒测试。

功能测试采用常用的 Monkey 测试法,对运行在 Android 设备或者模拟机上的 Android 应用进行模拟点击测试,在指定次数的情况下模拟用户点击事件,从而测试应用系统的稳定性。试验次数设定为 5 000 次,在测试期间没有出现 ANR (Application not responding) 现象和 FC (Force close) 现象,全部功能运行正常无卡顿。Monkey 测试结果表明 APP 在

运行期间有着良好的稳定性。

性能测试利用 Android Studio 选项卡中的 Android Monitor 自带的 Monitors, 监测程序运行期间的 Memory(内存占用率)和 CPU(处理器占用率)情况,从而测试应用在运行期间的整体性能。在 Monkey 测试的同时,观察 Android Studio 的 Monitors 选项卡,其中 Memory 最高占有率为 85.68 MB,平均为 47.56 MB;CPU 最高占用率为 42%,平均为 27%。

## 4 结论

为了实现温室数据的有效利用,做到病害的早预警、早防治,本系统设计了一种基于 PSO-SVR 模型的温室病害预警系统,可对温室环境参数进行充分的利用。系统基于温室物联网技术,实现了数据采集、数据去噪和远程控制功能。系统基于收集到的温室环境数据,通过 PSO-SVR 模型进行参数预测,温、湿度预测准确率分别为 97.6%、96.8%,结合预警模型,能够有效地提醒用户作出相应措施,并能实现自动生态防治。系统客户端基于 Android 平台,实现了可视化监测,操作界面友好,运行稳定。

### 参考文献:

- [1] 秦志伟. “农业 4.0” 已露尖尖角[J]. 农村·农业·农民(B版), 2015(9): 4-6.
- [2] 李灯华, 李哲敏, 许世卫, 等. 先进国家农业物联网的最新进展及对我国的启示[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 1-5.
- [3] 刘聪锋, 戴啸涛, 储成祥. 国外农业物联网发展经验借鉴[J]. 通信企业管理, 2015(1): 62-64.
- [4] 杨文奇, 刘希光, 郭彦克, 等. 温室环境物联网监测系统的设计[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(4): 105-108, 140.
- [5] 朱均超, 张强, 赵岩. 基于物联网的农业大棚环境监测系统设计[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(9): 76-80.
- [6] 葛文杰, 赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 222-227.
- [7] 范琼, 张武, 张雪花, 等. 温室小气候环境监测预警技术及应用研究[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(5): 71-75.
- [8] 吴久江, 汪星, 李群, 等. 简易草莓大棚智慧管理系统设计与性能分析[J]. 农业机械学报, 2019, 50(12): 295-303.
- [9] 杨俊成, 李淑霞, 李亮. 基于物联网与神经网络的温室监控方案[J]. 控制工程, 2020, 27(9): 1649-1656.
- [10] 郁莹璐, 徐达宇, 寿国忠, 等. 基于经验模态分解和小波神经网络的温室温湿度预测[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(1): 211-216.
- [11] 刘源, 宋涛, 徐晓辉, 等. 基于多元回归模型的精准光照系统[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(6): 162-166.
- [12] 张传帅, 徐岚俊, 李小龙, 等. 日光温室主要环境参数对番茄本体长势的影响[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(10): 118-124.
- [13] LAI Y C, AHSAN A, SHOHRAB H M, et al. Performance modeling and analysis of TCP and UDP flows over software defined networks[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2019, 130: 76-88.
- [14] WILLIAM D G. Using node and socket information to implement MPI Cartesian topologies[J]. Parallel Computing, 2019, 85: 98-108.
- [15] 李飞, 蒋敏兰. 基于支持向量机回归的蛋鸡产蛋率预测模型[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(13): 249-252.
- [16] 程鑫, 徐晓辉, 宋涛, 等. 基于 PSO-SVR 模型的温室智能补光系统研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(6): 64-68, 82.
- [17] 韩振荣. 温室黄瓜病虫害监测预警系统研究与实现[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.

(责任编辑:张震林)