

张 净,张 涛,郭洪波. 基于窄带物联网的中药材种植智能测控系统设计[J]. 江苏农业科学,2020,48(13):256-264.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.13.052

基于窄带物联网的中药材种植智能测控系统设计

张 净¹, 张 涛¹, 郭洪波²

(1. 江苏大学电气信息工程学院, 江苏镇江 212013; 2. 中国汉广集团, 北京 100062)

摘要:针对目前市场上中药质量良莠不齐的问题,设计了一种基于窄带物联网(NB-IoT)的中药材种植智能测控系统,该系统主要采用了窄带物联网技术,结合 STM32 微处理器和无线通信技术,能够实时监测中药材种植过程中影响中药材生长的土壤温度、土壤湿度、土壤酸碱度和土壤盐分含量等参数。首先运用层次分析法,并结合药农种植经验确定中药材种植的土壤适宜性等级,然后运用 K 均值聚类算法(K-means)去除原始的噪声数据,再通过广义回归神经网络(GRNN)算法对中药材生长土壤环境进行综合评估,实现中草药的溯源,且能起到预警作用,辅助药农及时调整种植环境。本系统既可应用在户外(荒山野岭)进行规模化中草药种植,亦可以应用在室内(大棚)进行小规模名贵药材种植。

关键词:中药材;窄带物联网技术;STM32 微处理器;层次分析法;K 均值聚类算法;GRNN

中图分类号: S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)13-0256-09

随着国际上对中医药重视程度的提高以及越来越多的人对中医的认可,中药材的需求量不断增加。由于目前各种食品安全问题的不断出现,中草药在种植过程中所遇到的安全问题越来越受到重视,人们对良心药的需求日益凸显。为了保障中药材产品的质量及其标准化数据的准确性,促进中医

药产业的蓬勃发展,需要使用新一代的物联网技术提高和增强溯源中药材产品的质量,加强中药材的质量安全控制,建立并完善中药材种植从幼苗期、生长期到成熟期的溯源规范。

目前中药材溯源设备还不完善,大部分中药材的种植还停留在人工播种、人工施肥阶段,机械化水平低,导致生产效率低下,直接影响药农种植面积,大部分个体药农的种植并未形成规模化和集约化,并且大部分药农的文化程度不高,虽然目前国家对于农药、化肥的使用量进行了严格把控,但是由于药农本身对农药残留、重金属残留等知识了解较少,仍盲目施肥,过分依赖化工产品使用,注重

收稿日期:2019-04-18

基金项目:镇江市 2017 年经信委软件产业发展专项资金“水培蔬菜测控系统应用开发及产业化”。

作者简介:张 净(1975—),女,江苏镇江人,博士,副教授,主要从事计算机应用研究。E-mail:jszj08062000@163.com。

通信作者:张 涛,硕士,主要从事电子与通信技术研究。E-mail:nanshenstudy@163.com。

是综合描述用户个体差异化特性的模型。本研究将基于本体的用户建模方法引入到农村信息化服务平台中,首先基于农业领域本体与用户注册信息构建初始用户模型,接着利用实时监测的用户日志与用户反馈对初始用户模型进行更新优化,为涉农工作人员提供个性化的平台资源。

参考文献:

- [1]张源媛. 供给侧改革背景下农业信息化建设研究[J]. 经济论坛,2019(5):63-68.
- [2]黄利斌. 基于本体的农业知识库检索关键技术研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2017.
- [3]何 胜,冯新翎,武群辉,等. 基于用户行为建模和大数据挖掘的

- 图书馆个性化服务研究[J]. 图书情报工作,2017,61(1):40-46.
- [4]李贵峰. 基于本体的农业知识建模研究[J]. 软件导刊,2016,15(12):65-67.
- [5]苏玉宁,姜 艺,陈贺胜,等. 基于 Ontology 的农业科学领域知识库构建[J]. 江苏农业科学,2018,46(5):194-198.
- [6]赵嫦花,米春桥. 大数据时代基于本体的农业信息融合方法研究[J]. 怀化学院学报,2017,36(5):41-45.
- [7]周义刚. 基于本体分子的动态知识检索模型及可视化呈现[J]. 图书馆学研究,2018(11):48-56.
- [8]阮怀伟,胡松华,陈艳平,等. 基于本体的兴趣模型和语义相似度计算方法的研究[J]. 电脑知识与技术,2018,14(20):183-185.
- [9]魏 同,李绍稳,耿凡凡,等. 基于领域本体的用户兴趣模型构建方法研究[J]. 计算机技术与发展,2017,27(3):65-69.

中药材的产量而不注重其质量,导致市场上收购的中药材在检测时通过率低,造成利润损失,市场上销售的中药材质量良莠不齐^[1]。基于此,本研究提出一种基于窄带物联网(NB-IoT)的中药材种植测控系统,使中药材的生长环境更符合规范要求,进而更好地协助药农种植中药材。

1 系统总体设计

基于窄带物联网的中药材种植测控系统的体系架构见图1,主要包括感知与传输层、智能决策层和应用层^[2]。其中感知与传输层中的感知层由传感器、执行设备和嵌入式网关组成。传输层(网络层)主要包括 NB-IoT 无线通信模块、嵌入式模块、NB-IoT 物联网专用卡、运营商基站、核心网以及物联网与平台等^[3]。每一块 NB-IoT 终端模组直接和运营商基站连接,在现有运营商基站部署条件的支持下,解决了城域及更大范围区域的物联网节点组网难题,对于中药材种植系统来说,实现了单跳通信。嵌入式网关通过 RS485 串口直接和传感器

连接,微处理器通过发送指令读取土壤温度、湿度、pH 值、盐分等数字传感器上的参数值或控制执行设备,并进一步对返回信息进行分析和处理,提取出需要的数据,然后通过串口通信将采集到的中药材种植环境数据发送给 NB-IoT 模块。NB-IoT 模块接收到中药材种植环境数据后通过运营商 NB-IoT 网络将数据传输至远程服务器端^[4]。智能决策层主要包括中药材生长环境监测服务端和远程服务端。中药材生长环境环境监测服务端主要对上传的信息进行分析和存储,提供查询接口给客户端,通过广义回归神经网络(GRNN)算法对中药材的种植环境进行判断和预测,并构建中药材种植环境的适宜性评价模型,最后按照统一格式将采集的信息和测控系统的分析结果储存至数据库中。应用层主要实现测控系统与用户的交互工作,远程用户可以通过手机和电脑登录浏览器查看中药材测控系统平台上的实时数据、土壤环境等级、中药材的成长状况和访问历史数据。

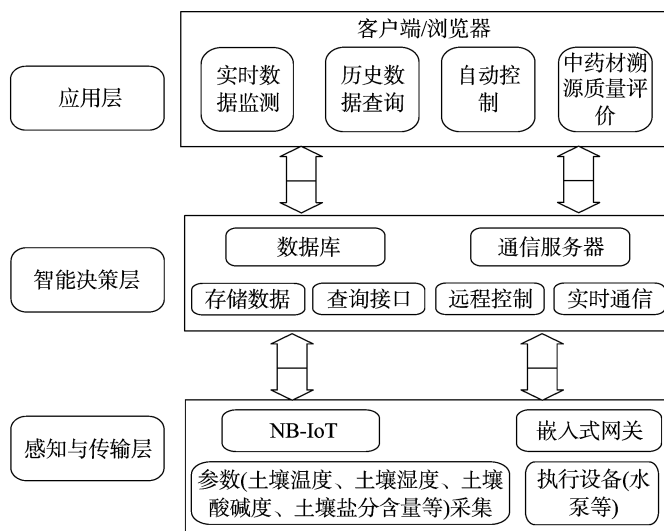


图1 中药材溯源测控系统体系架构

2 系统硬件设计

2.1 传感器模块

对于不同中药材种植环境的监测所需要的传感器种类不同,具体传感器的选取,可根据与具体药材种类生长最相关的信息参数来确定。对于生长在室内或室外的同种药材所选择的控制设备也不相同。俗话说“施肥不测土,浪费白辛苦;酸碱不改良,施肥也白忙”。所以土壤环境参数的记录、存储对于中药材的种植是必不可少的一项工作,本研

究系统采用的土壤水分温湿度传感器、土壤酸碱度传感器、土壤盐分传感器等是最具有代表性的传感器,适用于绝大多数中药材的生长测量。本研究系统所采用的土壤水分温湿度传感器可检测中草药生长过程中周围土壤的温度和湿度,然后对比所种植草药品种生度的适宜温湿度范围,从而确定是否需要浇水或遮阳,降水时也可以实时监测土壤温湿度,如果降水量过大,则需要开启挡雨工具进行挡雨,以保证中草药在适宜温湿度范围内生长。土壤酸碱度传感器和土壤盐分传感器用于实时测量中

药材生长过程中土壤的 pH 值和盐分含量。

2.2 网关模块

嵌入式网关位于整个测控系统的底层,是系统信息采集、通信、传输和控制过程中的关键环节,采用太阳能电池板供电,主要实现传感器采集数据的读取和处理,控制感知层的电磁阀以及 NB-IoT 模块与远程服务器端的通信。网关节点首先通过 RS485 总线接口读取土壤温度、湿度、酸碱度、盐分等数字传感器中的数值,并对读取的信息进行处理,最后通过串口通信传送给 NB-IoT 模块,再由 NB-IoT 模块传送到服务器端。网关模块可以同时接收和解析通信服务器下发的指令,控制继电器的开启和闭合。网关模块的处理芯片是 STM32f03VB 处理器。本研究系统传输层选用的是基于蜂窝的窄带物联网技术,它相对于传统物联网技术具有广覆盖、低功耗、大连接、低成本、稳定可靠等优势^[5]。网关节点实物如图 2 所示。

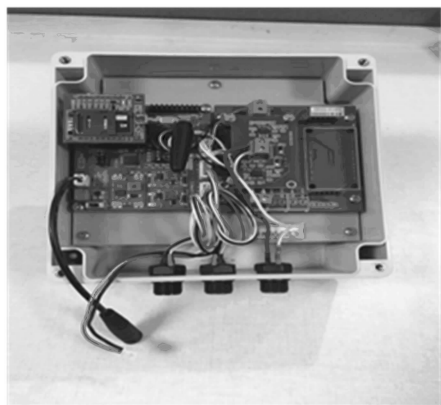


图2 网关节点实物

3 系统软件设计

3.1 嵌入式模块

嵌入式模块主要实现 5 个功能:(1)根据药材种类设置数据采集时间间隔,控制系统执行条件等参数;(2)按设定的程序或指令进行数据采集并将其存储在数据库中;(3)根据中药材的品种不同,每个环境参数可独立设定,适应于不同的季节、生长期,方便灵活;(4)系统具备报警和实时远程监测功能,当某项环境指标参数超过或者低于极限值时,系统可以发出警报提醒相关人员进行实时处理,管理人员也可以通过网络,实时观察中药材生长的环境参数;(5)利用该系统收集到的数据创建的相关中草药生长参数数据库,可作为研究根据及生产指导依据,辅助中药材的种植农户积累种植经验,使

种植管理全过程高效化、工厂化。

3.2 服务器模块

本研究系统的服务器模块所采用的是数据服务器和通信服务器分离的方式,降低了数据和通信之间的耦合性,提高了执行效率和响应速度,可保证通信的稳定可靠,同时能保证数据的响应速度。数据服务器系统主要负责接收存储传感器数据、提供历史数据查询接口。通信服务器主要负责应用层和感知层之间的实时通信。

3.3 系统智能决策模块

中药材种植环境测控系统的目标是在中草药采摘销售之前(包括幼苗期、生长期),根据该药材生长的环境判断该种中草药质量是否合格,能否采摘及销售到市场上。所以对中药材种植环境进行准确的分析评价,既有助于及时调整环境参数,又能实现产品溯源^[6],更好地让老百姓吃到放心药,是本研究系统需要进行的基础性工作。

3.3.1 智能决策方案分析 目前,对种植环境评价常用的方法有遗传算法、反向传播(BP)神经网络算法、模糊评价法、蚁群算法等,其中遗传算法收敛速度慢,且容易陷入局部最小值的问题;BP 神经网络算法受初始权值影响大,且收敛速度慢;模糊评价法计算过程复杂且主观性强;蚁群算法是一种仿生的优化算法,还存在一定的缺陷,可能会存在搜索时间过长、在搜索过程中停滞不前、过早收敛等问题,致使得到的最终解并不是最优解,而仅是局部最优解。本研究提出的 GRNN 算法,刚好弥补以上算法在模型预测中会呈现的锯齿现象,使得预测准确率比较高,并且 GRNN 是一种高度并行径向基神经网络,GNRR 算法具有训练速度快、局部逼近能力强、预测结果和评价准确率高等特点^[7]。整个智能决策层的算法流程见图 3。

3.3.1.1 评价指标体系构建 在进行预测评价之前,须先对要预测的中药材种植土壤进行适宜性评价,不同中药材种植土壤影响因素不同,以四川麦冬为例,影响其生长的土壤指标主要有土壤 pH 值、盐分含量、温度、湿度 4 项指标^[8]。

3.3.1.2 评价指标权值计算 目前,关于适宜性指标权值确定的方法较多,如模糊评价法、回归分析法、层次分析法等。本研究针对四川麦冬的种植条件,根据专家、药农种植经验,结合层次分析法求取各指标因子的权重^[9]。

由表 1 可见,组合权重最高的是土壤盐分含量,

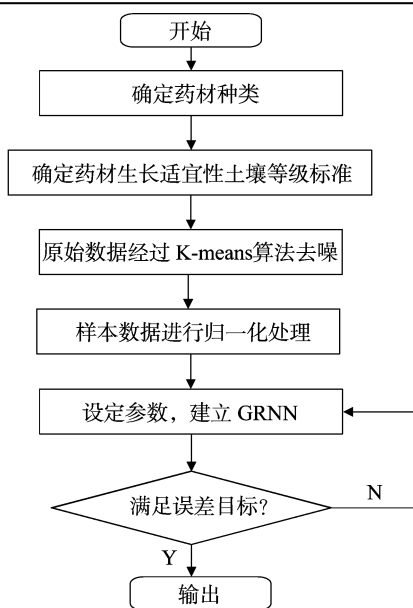


图3 智能决策层算法流程

表1 麦冬种植土壤适宜性评价体系与权重

目标层	指标层	单因子权重	组合权重
土壤种植麦冬适宜性	土壤温度	0.400	0.211
	土壤湿度	0.400	0.211
	土壤 pH 值	0.500	0.263
	土壤盐分含量	0.600	0.315

之后依次是土壤 pH 值、土壤温度、土壤湿度。

3.3.1.3 评价模型 评价模型的科学合理性对于最后的评价结果有直接影响,结合中药材麦冬种植的实际情况,最终确定用加权指数和模型作为种植评价分析模型^[10]。加权指数和评价的本质是将评价单元各指标权重累加求和,按照求得的评价单元总分值来进行土壤的适宜性等级划分。

$$N = \sum_{i=1}^m w_i E_{ij} \quad (1)$$

式中: N 为评价单元最终指数和; E_{ij} 为第 i 个因子中第 j 个等级的评分值; w_i 为第 i 项评价指标的权重; m 为评价指标的数量。

将 4 个评价指标量化分级赋权值后的图层进行叠加,对各个因子的权重进行累加求和,最终求得各个评价单元的总分值。在获得评价单元总分值的基础上,运用等差序列法来确定种植过程中各土壤参数适宜性等级的临界值,并根据各个临界值对评价单元进行分级评价。其中采用等差序列法划分麦冬种植土壤参数适宜性等级临界值的具体方法如下:

先确定各评价区间的平均值,具体公式为

$$S = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{n}; \quad (2)$$

$$L_{\max} = \sum_{i=1}^m \max[w_i E_{ij} (i = 1, 2, 3, \dots, k)]; \quad (3)$$

$$L_{\min} = \sum_{i=1}^m \min[w_i E_{ij} (i = 1, 2, 3, \dots, k)]。 \quad (4)$$

式中: S 为各个区间平均指数值; n 为划分区间数量; L_{\max} 为每个指标各项等级最大指数和; L_{\min} 为每个指标各项等级的最小指数和。

各区间适宜性上下限为

$$S_i = \begin{cases} S_1(L_{\max}, L_{\max} - S) \\ S_2(L_{\max} - S, L_{\max} - 2S) \\ \vdots \\ S_n[L_{\max} - (n-1)S, L_{\min}] \end{cases} \quad (5)$$

式中: S_i 为种植麦冬土壤的平均等级。

根据以往麦冬的长势情况并结合药农的种植经验将麦冬种植土壤适宜性划分为 4 级,分别为优、良、中、差(表 2)。

表2 麦冬种植土壤适宜性评价结果与分区

适宜性分级	适宜性区间	药材长势描述
优	(75, 100]	周期短、产量大、药效好
良	(56, 75]	周期较短、产量较大、药效好
中	(35, 56]	周期长、产量一般、药效较好
差	[0, 35]	产量小或没有、药效差

3.3.2 基于 K-means 算法的降噪 原始数据往往不太准确或存在一些问题,比如在不同系统中采集的数据由于缺少统一的定义会产生不一致问题,即使在同一系统中,对某一客观实物也常常会存在几种不同的描述,这种现象经常会导致数据的重复和冗余,除此之外,使用过程中的一些人为因素或其他一些不可靠因素也会使数据出现属性值缺失或异常现象。噪声数据指的是存在错误或异常的数据,与需求不相关的数据或者没有意义的数据,本研究系统噪声数据产生的原因有采集数据的设备出现故障、数据在传输的过程中出错或输入数据错误等。

为了解决上述问题,本研究提出使用 K-means 聚类算法去除噪声数据。K-means 算法是处理聚类问题的经典算法,具有简单、快速等特点,对解决大数据集,该算法具有可伸缩性和高效性;当簇接近高斯分布时,其效果较好。K-means 算法采用迭代的方法,在迭代过程中不断将数据对象指派到离它最近的簇中,直到聚类函数收敛为止^[11]。

算法的输入、输出以及工作步骤如下:

- (1) 输入初始数据集 Data 和簇的数目 K ;
- (2) 将每个对象分配给离它最近的聚类中心所在的簇;
- (3) 更新所有簇的均值中心作为新的聚类中心,直到聚类中心不再发生变化;
- (4) 输出 K 个簇

以中药材四川麦冬为例,由于在麦冬种植过程中收集到的数据量庞大,这里选取一部分数据进行测试,以小时为单位选取 150 组数据每组数据中均包括土壤温度、土壤湿度、土壤 pH 值、土壤盐分含量。对原始数据和 K-means 算法处理后的数据分别进行 Matlab 仿真。

从图 4、图 5 可以看出,原始数据中土壤温度聚

集在 13 ~ 14 °C 之间,但有几个数据存在波动,达到 19 °C 以上,通过降噪后,数据聚集在 13 ~ 14 °C 之间。

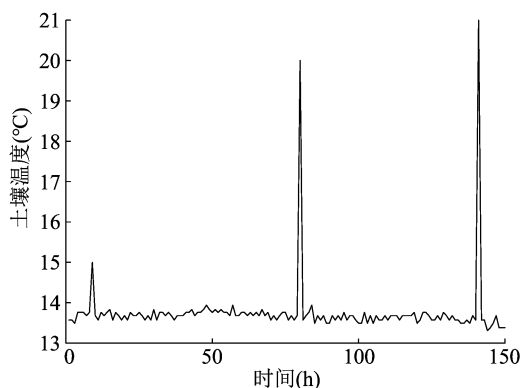


图4 土壤温度

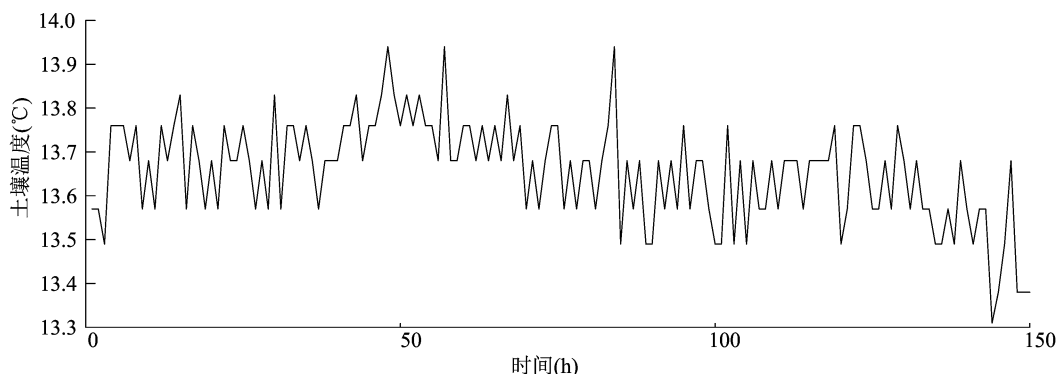


图5 去噪后的土壤温度

从图 6、图 7 可以看出,原始数据中土壤湿度聚集在 52 ~ 54 °C 之间,由于个别数据波动大,致使其他时间数据像分布在一条水平直线上不直观,通过

降噪后土壤湿度聚集在 53.0 ~ 54.2 °C 之间,在小范围内波动。

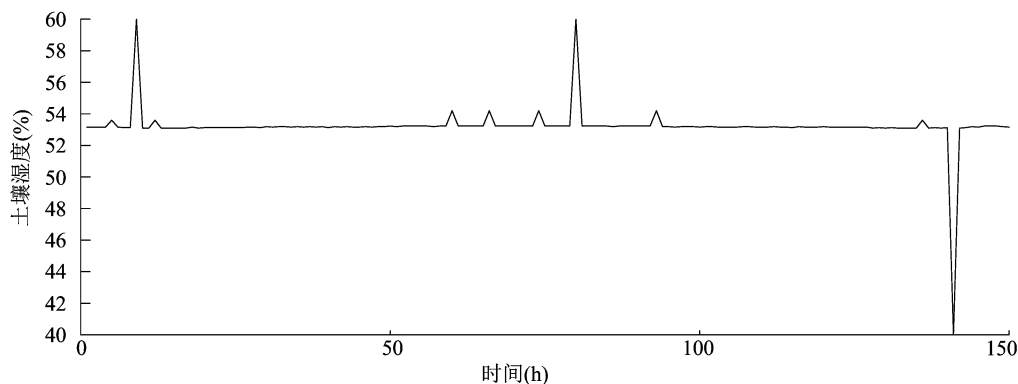


图6 土壤湿度

由图 8、图 9 可知,在原始数据中土壤 pH 值主要维持在 8 ~ 9 之间,存在个别异常 pH 值,通过去噪后土壤 pH 值稳定在 8.60 ~ 8.85 之间。

由图 10、图 11 可知,土壤盐分含量集中在 16 ~ 18 mg/L 之间,存在个别异常值,通过去噪后土壤盐分含量稳定在 17 ~ 18 mg/L 之间。

综上,原始数据中常存在噪声数据,使得数据

波动范围过大,影响后续对数据的处理,通过 K-means 聚类算法处理后数据变得更加密集和精确。

3.3.3 基于 GRNN 算法的评价预测 首先通过层次分析法确定中药材生长环境中各个参数指标的等级范围,然后通过感知层收集影响该种中药材种植的环境参数。本研究主要对从中药材种植到采收

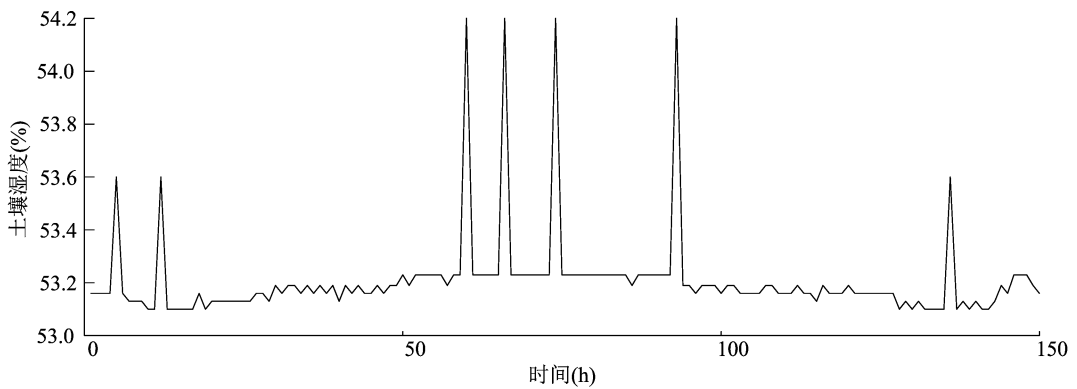


图7 去噪后的土壤湿度

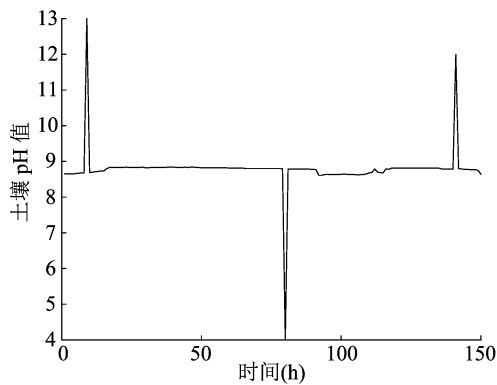


图8 土壤 pH 值

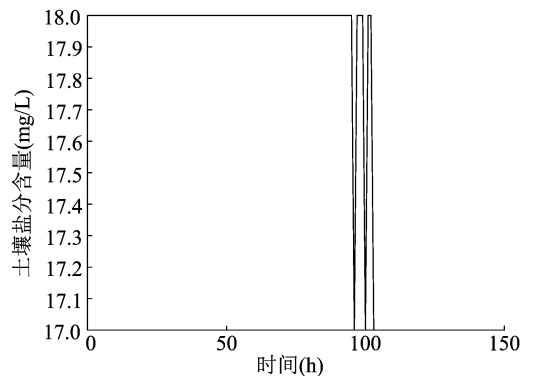


图11 去噪后的土壤盐分含量

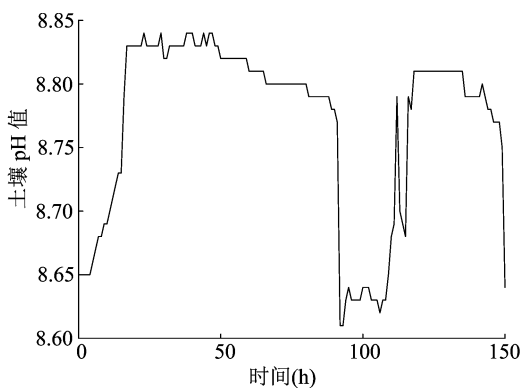


图9 去噪后的土壤 pH 值

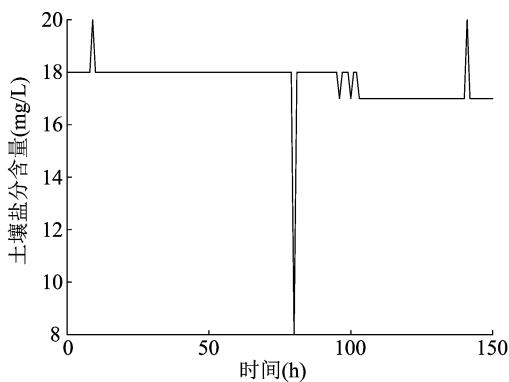


图10 土壤盐分含量

阶段的数据进行评价预测,由于中药材种植的特殊性,与普通植物种植不同的是,大多数中药材种植周期比较长,感知层模块收集的数据量比较大,将数据库里的数据通过 K - means 算法处理后去除异常数据,得到正确的中药材种植过程中的环境数据,再对数据进行归一化处理。

为了构建中药材质量等级评价模型,本研究选用的是广义回归神经网络算法,它是一种基于非线性回归理论的前馈式神经网络模型^[12],其结构见图 12。

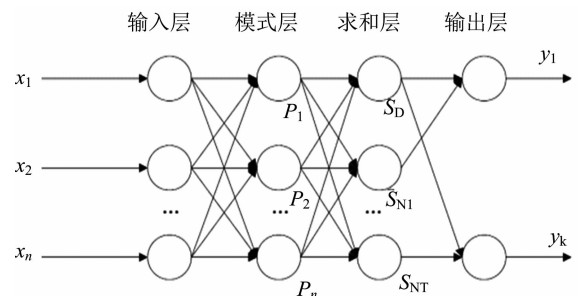


图12 广义回归神经网络的结构

GRNN 的输入向量经过高斯函数激活后,传递给隐含层。其输出表达式为

$$a=f(\parallel \mathbf{W}-p\parallel b)=\text{radbas}(\parallel \mathbf{W}-p\parallel b); \quad (6)$$

个数。

$$a(n)=\text{radbas}(n)=e^{-n^2}; \quad (7)$$

$$\parallel \mathbf{W}-p\parallel =\sqrt{\sum_{i=1}^R(w_{1,i}-p_i)^2} \quad (8)$$

$$R=[(\mathbf{W}-p^T)(\mathbf{W}-p^T)^T]^{\frac{1}{2}}; \quad (9)$$

$$b=\frac{[-\lg(0.5)]^{\frac{1}{2}}}{\text{spread}}. \quad (10)$$

式中:radbas 为高斯函数; $\parallel \mathbf{W}-p\parallel$ 为欧几里得距离; R 为隐含层神经元的值; p 为输入向量; p_i 为第 i 个输入向量; \mathbf{W} 为输入权值矩阵; $w_{1,i}$ 为输入权值矩阵 1 到 i 之间的距离; b 为阈值; i 为第几个神经元; n 为输入层神经元的个数; spread 为光滑因子,或用 σ 表示。

模式层中传递函数为

$$P_i=\exp\left[-\frac{(x-x_i)^T(x-x_i)}{2\sigma^2}\right];i=1,2,3,\cdots. \quad (11)$$

在求和层中,神经元个数与输入元素个数相同,但该层中要对前述 2 种函数进行求和。

一类是链接权值为 1 的 S_D 。

$$S_D=\sum_{i=1}^n P_i. \quad (12)$$

另一类是 S_{N_j} ,其连接权值为 y_{ij} ,表示第 i 个输出样本 y_i 的第 j 个元素,以 n 表示求和层神经元的

$$S_{N_j}=\sum_{i=1}^n y_{ij}P_i,j=1,2,3,\cdots,k. \quad (13)$$

输出层函数为

$$y_j=\frac{S_{N_j}}{S_D},j=1,2,3,\cdots,k. \quad (14)$$

本研究中 GRNN 算法通过 Matlab 仿真实现,GRNN 的创建需要将所有数据划分为输入向量、输出向量、训练数据和测试数据。根据种植中药材种类的不同,选取对中药材种植影响最大的几个参数,由于本研究中的试验药材是四川麦冬,因此选取土壤温度、土壤湿度、土壤酸碱度和土壤盐分含量作为测试指标。本研究选取 150 组数据,每组数据包括土壤温度、土壤湿度、土壤酸碱度、土壤盐分含量和土壤种植适宜性等级等 5 项,其中土壤温度、土壤湿度、土壤酸碱度和土壤盐分作为输入变量,土壤种植适宜性等级(表 2,分别用 1、2、3、4 表示优、良、中、差)作为输出变量,前 120 组作为训练数据,部分结果见表 3,后 30 组作为测试数据,部分结果见表 4。经过 Matlab 仿真测试多次试算发现,当光滑因子 σ 为 0.4 时,GRNN 对麦冬土壤适宜性等级分类预测准确率为 96.67%,与实测值几乎一致,并且所耗时间很短(图 13)。

表 3 部分训练数据和适宜性等级预测结果

编号	土壤温度 (℃)	土壤湿度 (%)	土壤 pH 值	土壤盐分含量 (mg/L)	适宜性等级	
					实测值	GRNN
1	13.57	53.16	8.6	18	2	2
2	12.61	50.28	8.0	17	2	2
3	10.18	48.36	8.7	15	3	3
4	16.12	60.26	7.1	18	1	1
5	17.33	65.45	7.3	19	1	1
6	23.22	56.34	5.8	15	3	3
7	24.26	48.27	5.3	16	3	3
8	18.15	68.22	7.3	25	1	1
9	17.26	71.36	7.6	27	1	1
10	10.65	52.68	8.3	17	2	2

通过 GRNN 算法可以对土壤的等级进行评价,进而实现预警作用,数据量越大时,预测的数据越多。这样有助于药农提前进行施肥、浇水和调整土壤酸碱度,从而使中药材始终生长于适宜性等级高的土壤环境中,进而减少其生长周期,提高产量和药效。

4 系统测试

以麦冬为测试药材,它适宜在疏松、肥沃、湿润和排水良好的沙壤土地或者坡地上种植,国内最适合种植的地理位置为四川省和浙江省,根据地理位置的不同麦冬的种植方法、生长周期和功效也不

表 4 部分测试数据和适宜性等级预测结果

编号	土壤温度 (℃)	土壤湿度 (%)	土壤 pH 值	土壤盐分含量 (mg/L)	适宜性等级	
					实测值	GRNN
1	14.63	62.22	8.3	18	2	2
2	12.61	50.28	8.0	17	2	2
3	9.18	48.36	8.7	15	3	3
4	16.55	70.26	7.4	26	1	1
5	26.26	52.23	6.4	19	3	3
6	13.62	53.26	8.1	21	2	2

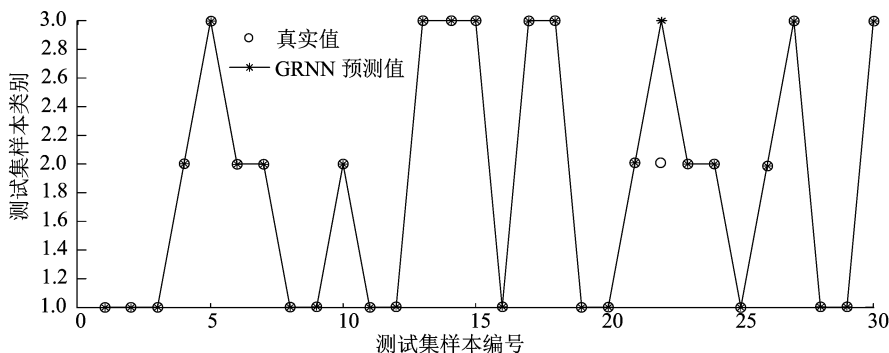


图13 GRNN预测结果

同,本研究系统设备见图 14,选择的测试地点为位四川省绵阳市种植基地(图 15),其生长周期为 1 年左右。本研究测试时间为 2018 年 4 月 2 日至 2019 年 3 月 25 日,共有 4 个测试点,每个测试点放置 1 个设备。



图14 系统设备

首先系统对土壤温度、土壤湿度、土壤 pH 值、土壤盐分含量进行采集,并存储到数据库中,供用户查看。其次对数据库里的数据进行分析,为便于用户查看,利用 java、mysql、html 语言建立一个中药材种植溯源信息管理平台,以网页形式表达种植环境信息,图 16 为中药材种植环境信息和分析结果页面。

5 结论

本研究系统采用太阳能为其供电,节能环保,且解决了在山区空旷土壤无电的问题,采用了传感器技术、物联网技术,选择土壤温度、土壤湿度、土壤 pH 值及土壤盐分含量为参数,在确定药材种类后,利用层析分析法结合专家经验确定药材种植适宜性土壤标准,建立了 GRNN 模型,并将其应用在中药材测控系统中,对麦冬的种植环境进行评价和预测估计。经仿真验证,本研究系统对中药材种植环境的评价和预测符合标准。本研究系统使得中药材种植过程可测控,使种植管理全过程高效化、工厂化,且可根据收集到的数据创建相关中药材生长数据库,为研究及生产指导提供依据。

参考文献:

[1]李晋宏,李文鹏. 中药种植过程溯源系统的设计[J]. 计算机光盘软件与应用,2014(8):231-232.
[2]刘 君,晏国生,柳平增,等. 基于物联网的农作物生产智能测控系统的研究与应用[J]. 农业网络信息,2011(2):17-20.
[3]王纯龙,李贺强. NB-IoT 的关键技术及在农业物联网中的应用[J]. 电子技术与软件工程,2017(16):20.
[4]Oh S M,Shin J S. An efficient small data transmission scheme in the 3GPP NB-IoT system[J]. IEEE Communications Letters,2017,21



图15 四川麦冬种植现场监控



图16 麦冬种植环境分析界面

(3):660-663.

[5]Kim T, Kim D M, Pratas N, et al. An enhanced access reservation protocol with a partial preamble transmission mechanism in NB-IoT systems[J]. IEEE Communications Letters, 2017, 21(10):2270-2273.

[6]张辰露, 梁宗锁, 冯自立, 等. 我国中药材溯源体系建设进展与启示[J]. 中国药房, 2015, 26(16):2295-2298.

[7]张娅莉, 喇果彦. GRNN神经网络在信息分析预测中的应用[J]. 数据采集与处理, 2009, 24(增刊1):100-103.

[8]黄虹. 麦冬高产栽培要点[J]. 安徽林业, 2006(2):36.

[9]龚亚君, 张洁, 项志南, 等. 中药麦冬本草溯源释疑[J]. 中国药师, 2017, 20(2):229-231.

[10]唐雪香, 王桂保, 刘轩. 基于GIS的种植枣树耕地适宜性评价与品种区划[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(8):179-182.

[11]杨柳. K-means聚类算法性能分析与优化研究[J]. 火控雷达技术, 2019, 48(2):16-19.

[12]Zhang Y, Sheng L. Transformer fault diagnosis based on GRNN and FCM[J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(5):116-120.