

# 基于 SGX 的茶园生态监测系统的设计与实现

张晓婷<sup>1,2</sup>, 李晓风<sup>1,2</sup>, 方世玉<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 合肥物质科学研究院, 安徽 合肥 230031; 2. 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026)

**摘要:** 茶园生态监测在茶叶生长管理过程中必不可少, 其生态数据的准确性也是监测准确性的重要环节。对此, 提出基于 SGX 软件保护扩展的茶园生态监测系统。系统主要由茶园生态数据采集终端、SGX 数据处理和链上存储模块、数据监测展示平台三部分组成。茶园生态数据采集终端利用各类传感器采集茶园土壤、空气、光照等数据并解析上传, 经过可信函数调用, 进入 SGX 提供的安全区进行数据处理, 最后将处理结果和数据上传至区块链中保存。为了直观地显示茶园生态环境数据, 搭建了茶园生态环境数据监测平台。实验表明: 系统可以降低茶园管理任务量, 保证数据准确性, 为茶叶质量提供可信度。

**关键词:** 茶园生态监测; 传感器; 软件保护扩展; 链上存储

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 1006-2394(2021)05-0001-04

## Design and Implementation of Tea Garden Ecological Monitoring System Based on SGX

ZHANG Xiaoting<sup>1,2</sup>, LI Xiaofeng<sup>1,2</sup>, FANG Shiyu<sup>1</sup>

(1. Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;

2. University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract:** Ecological monitoring of tea garden is indispensable in the process of tea growth management, and the accuracy of ecological data is also an important link of monitoring accuracy. Therefore, a tea garden ecological monitoring system based on SGX was proposed. The system is mainly composed of three parts: tea garden ecological data acquisition terminal, SGX data processing and on-chain storage module, and data monitoring platform. The ecological data acquisition terminal collects the soil, air, light and other data of the tea garden with various sensors, analyzes and uploads the data, and then enters the safe area provided by SGX for data processing after a trusted function call. Finally, the processing results and data are uploaded to the block chain for storage. In order to display the ecological environment data of tea garden intuitively, a tea garden ecological environment data monitoring platform is built. The experimental results show that the system can reduce the quantity of tea management tasks, ensure the accuracy of data, and provide credibility for tea quality.

**Key words:** ecological monitoring of tea garden; sensor; SGX; on-chain storage

DOI:10.19432/j.cnki.issn1006-2394.2021.05.001

## 0 引言

随着信息科技的发展, 农业发展智能化程度也在不断提升<sup>[1]</sup>。茶园作为智能农业的重要一环, 茶园茶树的管理智能化必不可少。而茶园土壤 pH 值、土壤温度、土壤湿度、光照强度、空气温度、空气湿度等环境都影响着茶树的生长<sup>[2-5]</sup>。因此, 建立一套监测系统实现对茶园生态环境数据监控的同时, 保证数据来源可靠非常重要。

本文利用各种传感器监测设备监测茶园的生态环境情况, 对茶树生长过程进行全程生态环境数据采集,

利用英特尔安全保护扩展处理采集到的监测数据, 并将所有数据上传至区块链平台, 保障所有茶叶生长环境数据真实、可溯源。同时建立 Web 端的数据监控平台, 实现茶园生态环境数据的监控, 有助于茶园管理者了解茶叶生长情况, 提高茶叶质量。

## 1 技术知识

### 1.1 SGX 介绍

英特尔推出的软件保护扩展 (Software Guard Extension, SGX) 是英特尔指令集架构扩展<sup>[6]</sup>。目的是以硬件安全为强制性保障, 不依赖固件和软件的安全状

收稿日期: 2021-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61602435); 安徽省自然科学基金资助项目 (1708085QF153)

作者简介: 张晓婷 (1996—), 女, 硕士研究生, 研究方向为区块链技术。

态,允许应用程序在内存中开辟一个可信的可执行区域,称为安全区(Enclave)。当程序执行到可信函数时,程序则会在安全区内执行,能够访问到 Enclave 中的代码和数据。而其他试图在安全区外访问 Enclave 内的行为都会被 CPU 拒绝。Enclave 内数据通过专门的加密输出到非安全区后,其他机器即使拿到加密后的数据也是无法解开的,保障了数据的准确性和机密性。Intel SGX 提供了两种数据密封的方案<sup>[7]</sup>,一种是安全区标志(MRENCLAVE)策略,由安全区独享密钥,只有同一台机器的同一安全区才能解封数据;另一种是密封标志(MRSIGNER)策略,是基于安全区密封授权方生成的一个密钥,能够使一个安全区密封的数据能被同一机器上的另一个安全区解封。此两种方案可以在同一机器实现数据的加解密,保证了数据在机器上存储和处理过程中的安全性。

## 1.2 区块链介绍

区块链是一种基于对等网络的分布式账本。区块链中的每一个区块都会指向前一个区块,来保证区块中的记录数据难以被篡改及数据可溯源<sup>[8-9]</sup>。此外,由于区块链系统是点对点的分布式网络,当某节点因为宕机等原因导致数据丢失后,仍能通过其他节点存储的数据进行数据恢复,解决节点数据丢失问题,保证数据完整性。一般区块结构如图1所示,区块 block 包含 header 及交易列表 transaction list。其中 header 中主要有前一块的哈希值 prehash、难度值 difficulty、交易的默克尔根 merkle root 等。

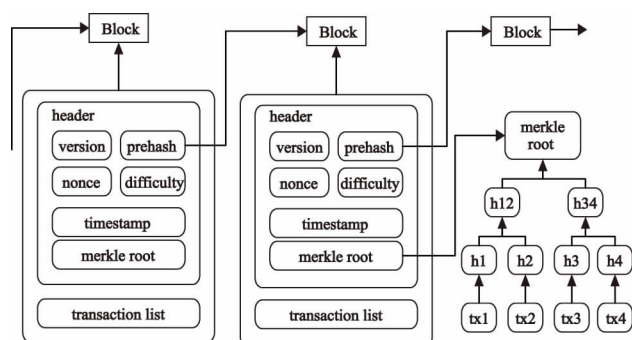


图1 区块结构

## 2 系统设计

### 2.1 系统整体框架

系统主要由茶园生态数据采集终端、SGX 数据处理和链上存储模块、数据监测展示平台三大模块组成。系统整体架构如图2所示。

茶园生态监测数据采集终端利用土壤 pH 值测量传感器、土壤温湿度测量传感器、光照强度测量传感器、空气温湿度测量传感器等设备对茶叶生长的土壤

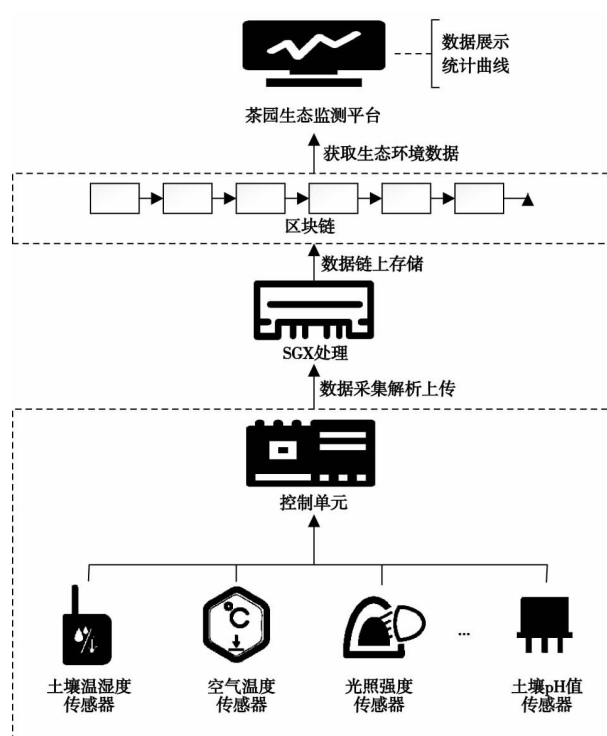


图2 系统整体架构图

条件和气候因素,包括土壤 pH 值、土壤温度、土壤湿度、光照强度、空气温度、空气湿度等数据进行实时采集,再通过控制单元将数据传输至 SGX 可信环境,对采集的数据进行处理分析;然后将数据加密后上传到区块链上,保证数据来源的真实性和准确性;最后数据监测平台可以从链上获取真实有效的实时监测数据并展示,实现茶园茶叶生长情况实时监测。

### 2.2 系统硬件设计

该系统的硬件部分主要包括控制单元、数据采集模块、电源模块、通信模块等。其中控制单元使用的是 ST 公司生产的 STM32F4 系列芯片,该系列芯片是基于 ARM 32 位 Cortex-M4 CPU,片内自带 1MB FLASH 程序存储器,以及 196K 字节的内嵌 SRAM。

控制单元主要的功能是对上位机传来的通信数据进行分析与处理,并且将各个传感器测量得到的数据传输到上位机。数据采集模块的主要功能是使用各个传感器对数据进行采集。电源模块的主要功能是给控制单元以及各个传感器和通信模块进行供电。通信模块的主要功能是对上位机和控制单元的数据进行传输。硬件框架图如图3所示。

当接收到上位机传来的数据时,控制单元对传来的通信数据进行处理判断,根据传来的数据识别哪个传感器进行数据采集,相应传感器进行数据采集之后,将采集到的数据传输到控制单元中,控制单元进行相应处理,再通过 485 通信将采集到的数据发送到上位机,完成上位机对监测数据的获取。下位机的软件流

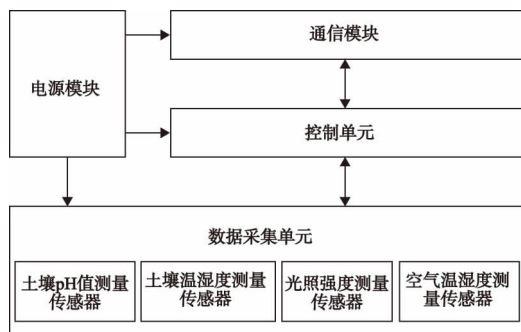


图3 硬件部分框架图

程图如图4所示。

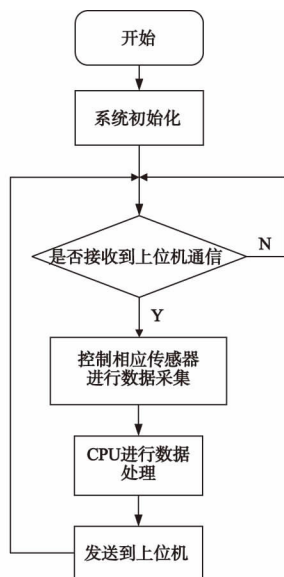


图4 下位机软件流程图

### 2.3 系统软件设计

系统的软件部分主要包括数据可信处理模块、数据上链模块、监测平台数据展示模块。软件部分框架如图5所示。

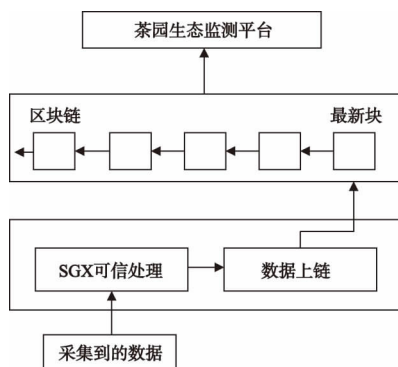


图5 软件部分框架图

#### 2.3.1 数据可信处理模块

从数据采集终端获取到茶园生态监测数据后,通过预编好的可信函数进入SGX可信环境对数据进行处理,处理过程如图6所示。外部任何程序都无法进入到可信环境内读取其中的数据情况,保证了采集到

的数据及数据处理结果的准确性。

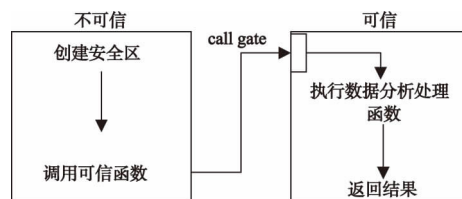


图6 SGX处理过程图

可信环境内处理函数伪代码举例如下:

```
enclave{
    trusted{
        public string process( data) {
            if data. pH > standard. pH_max
                “土壤 pH 值过高”
            else if data. pH < standard. pH_min
                “土壤 pH 值过低”
            else
                “土壤 pH 值正常”
            ...
        }
    }
    untrusted{
        ...
    }
}
```

#### 2.3.2 数据上链模块

数据处理完成后,若直接输出到非可信环境外,仍存在数据被篡改的风险。为了保证在监测平台展示前的数据是安全可靠的,引入区块链解决方案。区块链具有去中心化、数据难篡改等特性,能提供安全的存储。将从茶园中采集到的土壤情况等生态源数据和经过处理获得的数据,通过可信环境内的区块链轻节点打包上链。上链处理函数伪代码如下:

```
trusted{
    public string process( data ,result) {
        account = ‘0x... 发起交易的地址’
        user = ‘0x... 交易接收账户的地址’
        // chainData 待上链数据
        chainData = collect( data ,result)
        //构造上链交易
        tx = {
            from: account ,
            to: user ,
            gasPrice: ‘设置 gasPrice 值’,
            gas: ‘设置 gas 值’,
            nonce: 1, //每次交易不能重复
            value: 0 ,
            data: chainData
        }
        //将包含数据的交易发送到区块链网络
        sendTx( tx)
    }
}
```

}

由于采集得到的茶园生态的土壤、光照等数据,是放在交易的 data 域里上链的, data 域中的生态数据对外是公开可查询的。但实际应用场景中,可能存在多个茶园的多个节点,对应非同一监测平台,监测平台只能获取到与其对应的茶园的生态监测数据的情况。因此,解决办法是平台与茶园的各个采集节点协商密钥,来加密数据,多一层访问权限控制。

### 2.3.3 数据展示模块

数据展示模块主要是茶园生态监测平台的实现。土壤 pH 值、土壤温度、土壤湿度、光照强度、空气温度、空气湿度等数据被上传到链上后,生态监测平台能够从链上查询到交易,并获取到交易 data 域中的茶园的环境数据。Web 端的监测平台可视化展示茶园各采集点土壤、光照、空气等情况,可以为平台用户或是茶园管理者提供对异常情况的精准预警。如图 7 所示,茶园生态监测平台主要功能如下:

- 1) 用户登录及用户信息管理。
- 2) 土壤 pH 值、土壤温湿度、光照强度等数据以及处理结果数据链上获取并展示。
- 3) 统计茶园各采集点周围生态环境数据变动,以波动曲线的形式直观地呈现给用户。

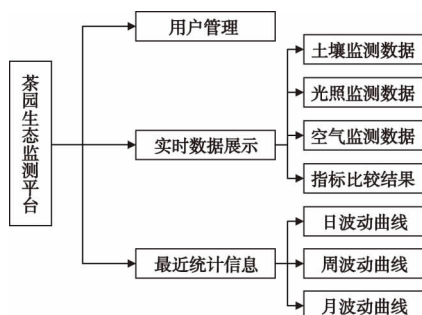


图7 茶园生态监测平台功能

在用户管理方面,针对不同的茶园管理者角色开放不同的访问权限,便于茶园的管理。用户主要分为茶园管理员、设备管理员、普通用户。茶园管理员具有最高访问权限,可以访问到平台所有功能,设备管理员具有次级管理权限,具有访问一个或多个传感器设备采集到的数据及统计信息的能力,而普通用户只能访问到环境的实时数据。

## 3 系统实现

基于设计的茶园生态监测平台,简要实现了后台接口开发和 Web 端展示页面。在接口开发部分,基于 Node.js 开发环境,使用 web3.js 提供的应用程序接口与区块链层交互,获取链上存储的土壤 pH 值、土壤温湿度、光照强度等生态环境数据。在 Web 端展示部

分,利用前端框架 Vue 以及 UI 框架 ElementUI,快速搭建了生态数据监测展示界面。

### 3.1 采集数据展示

以采集点为单位,每隔 1 h 获取每个采集点采集到的环境数据后,利用 ElementUI 中的表格组件,展示采集点处的土壤 pH 值、土壤温湿度、光照强度等数据。展示页面如图 8 所示。

采集时间	采集点	土壤pH值	土壤温度	土壤湿度	光照强度	空气温度	空气湿度
2020-04-03 10:15:20	采集点1	5.0	23.4	91	5000	20.1	85
2020-04-03 10:15:25	采集点2	5.1	24.0	87	-	20.3	84
2020-04-03 10:15:33	采集点4	5.0	23.7	85	15000	20.1	83
2020-04-03 10:15:33	采集点3	4.9	23.6	85	15040	20.4	83
2020-04-03 10:15:34	采集点5	5.0	23.5	82	15188	20.4	81
2020-04-03 10:15:36	采集点6	4.8	24.5	80	16208	20.0	88
2020-04-03 10:15:36	采集点8	5.6	25.1	78	30325	23	79

图8 采集数据展示页面

### 3.2 统计数据展示

考虑到茶叶生长周期环境数据统计分析的需求,分别根据日单位、月单位、年单位展示茶园生态环境数据的平均波动情况,引入 ECharts 数据可视化插件,实现生态环境数据波动图展示。例如,土壤 pH 值波动曲线页面如图 9 所示。

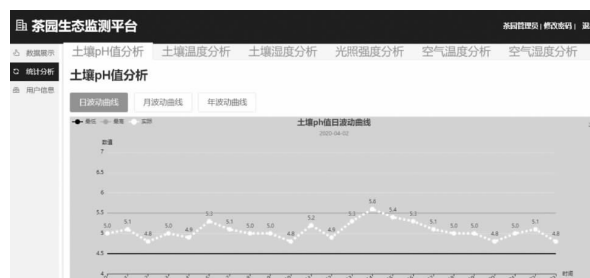


图9 土壤 pH 值波动曲线页面

## 4 结束语

本系统利用 STM32F4 芯片对上位机传来的通信数据进行分析处理,将各传感器采集的茶园生态环境数据传输到上位机,再以 SGX 技术作为数据安全处理模块,区块链技术作为数据安全存储模块,实现 Web 端的茶园生态监测平台,展示茶园土壤、空气、光照相关指标值及不同时间跨度的环境条件波动信息,为茶园管理者提供管理依据。实验结果表明,功能满足系统需求,大大降低茶园管理者的工作量;且茶树生长过程环境数据透明化,茶叶质量清晰化,建立茶叶销售的诚信桥梁,有助于推动茶叶市场良性发展。

### 参考文献:

- [1] 欧阳晓光,张菊年.关于农业信息化的若干认识与思考[J].中国农业科技导报,2001(4):76-80.

(下转第34页)



序流程图如图7所示。

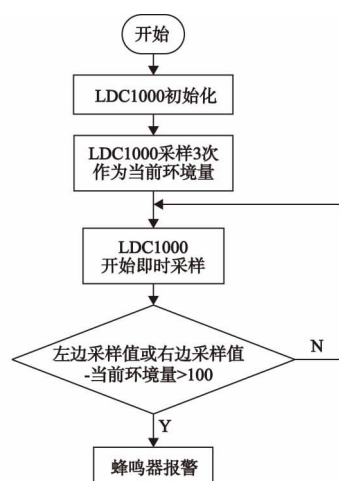


图7 硬币检测程序流程图

#### 4 测试结果

当小车在自制的平面环形铁丝轨道上平稳行驶时,手工记录行驶时间和测量行驶距离,与小车实时显示运行距离和时间等信息进行多次比较;对小车识别轨道上硬币能力的测试,具体测试数据如表2所示。

表2 测试数据

检测次数	第一次		第二次		第三次	
OLED 显示 时间与距离	259.7 cm	113 s	255.4 cm	11 s	258.7 cm	10 s
实际距离 与时间	262.8 cm	114 s	262.8 cm	11 s	262.8 cm	12 s
检测硬币数目	4 枚		4 枚		4 枚	

由表2可知,小车可以按照铁丝的轨迹循迹前进,自动显示行驶距离及时间误差小,硬币识别率100%,同时探测到硬币会发出报警声。

#### 5 结束语

该小车以 Arduino 为控制核心,采用 TI 公司的 LDC1000 电感数字转换器模块作为金属循迹传感器,结合驱动模块、电源模块和显示模块实现了自动循迹功能。该小车自动循迹1圈的时间约为30s,行进途中对遇到的硬币能够进行报警,并同时显示小车运行距离和行驶时间。经测试表明:该小车系统性能稳定、测试准确、自动循迹效果好,能够为智能化小车研究提供实践基础;但自动循迹的轨迹标识还需要进一步完善,使得系统更趋于智能化、人性化的特点。

#### 参考文献:

[1] 严彦成, 巩琪娟, 马灿洪, 等. 智能小车的自适应轨迹控制

系统设计[J]. 新型工业化, 2020, 10(6): 80-82.

- [2] 贾树林, 马双宝. 基于 STM32F429 两轮平衡车的研制[J]. 武汉纺织大学学报, 2020, 33(5): 57-63.
- [3] 严军. 轮式移动机器人的“球门”式路径规划[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
- [4] 杨汉祥, 张琦. 红外计数器的设计[J]. 科技广场, 2009(7): 187-190.
- [5] 赵玲, 乔俊福. 基于 STC89C52 的智能循迹小车设计[J]. 电工技术, 2019(16): 1-2.

(许雪军编发)

(上接第4页)

- [2] 陈桂鹏, 何俊海, 苏小波, 等. 基于无线传感器网的茶园环境监测系统设计与实现[J]. 广东农业科学, 2014, 41(14): 163-167.
- [3] 王战备. 基于 GPRS 的茶园土壤温湿度远程监测系统[J]. 农机化研究, 2013, 35(6): 186-189.
- [4] 韩团军. 基于 GPRS 和 WEB 的远程网络分布式茶园环境污染监测系统研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 416-418.
- [5] 何敏. 基于 GIS 的茶园环境实时监测与防冻预警系统[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [6] 董春涛, 沈晴霓, 罗武, 等. SGX 应用支持技术研究进展[J]. 软件学报, 2021, 32(1): 137-166.
- [7] SANGYEON W, JEHO S, SUNGYONG P. A distributed oracle using intel SGX for blockchain-based IoT applications[J]. Sensors(Basel), 2020, 20(9): 2725.
- [8] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报, 2016, 42(4): 481-494.
- [9] 沈鑫, 裴庆祺, 刘雪峰. 区块链技术综述[J]. 网络与信息安全学报, 2016, 2(11): 11-20.

(许雪军编发)

(上接第8页)

- [6] 邱志成, 史双瑾, 邱琪. 高精度光纤延迟线的研究[J]. 光电工程, 2009, 36(6): 72-75.
- [7] 崔保伟. 磁光开关工作原理和设计方法[J]. 机电元件, 2011, 23(4): 3-6.
- [8] 刘秀红, 赖伟恩, 文岐业, 等. 基于嵌入式实时系统的磁光开关驱动电路设计[J]. 磁性材料及器件, 2011, 19(3): 48-52.

(许雪军编发)