

纸 • 开放获取

基于物联网的智能农业监控、自动化和入侵检测系统

引用这篇文章：Ahmad Faisol Suhaimi 等2021年 *J. Phys.: Conf. 爵士*。1962年 012016



240th ECS Meeting

Digital Meeting, Oct 10-14, 2021

We are going fully digital!

Attendees register for free!

REGISTER NOW



基于物联网的智能农业监控、自动化和入侵检测系统

艾哈迈德·费索尔·苏海米²、奈玛雅各布^{1,2}、索桑·阿里·萨德⁴、凯鲁·阿扎米·赛德克³、穆罕默德·埃洛拜德·埃尔谢赫^{1,2}、阿拉 KY 达法拉⁴、王碧琳^{1,2}、马哈蒂尔·阿尔马绍尔⁵

¹高级计算，卓越中心 (CoE)，马来西亚玻璃市大学 (UniMAP)，马来西亚玻璃市

²马来西亚玻璃市大学电子工程技术学院 (UniMAP)，马来西亚玻璃市

³马来西亚国际伊斯兰大学 (IIUM) Kulliyyah 工程系和计算机工程系，马来西亚雪兰莪

⁴沙特阿拉伯王国哈伊尔大学计算机科学与工程学院计算机工程系

⁵Data61，英联邦科学与工业研究组织 (CSIRO)，澳大利亚

¹naimahyaakob@unimap.edu.my

抽象的。 人工灌溉仍广泛用于农业领域，使用传统的滴灌和罐头浇灌。然而，传统的灌溉系统效率低下且不精确，导致浇水不足或过度。此外，农民很难在适当的时间预测合适的数量。人工监测农田也可能导致人为错误，并对农村地区存在潜在风险。如果农民不在现场，他们也可能不会意识到入侵。因此，本项目旨在开发智能监控和自动灌溉系统，不仅可以提供特定条件提供高效用水，还可以对环境进行实时监控。此外，该系统可防止对植物造成损害并降低植物被盗的可能性。该系统使用 NodeMCU ESP32 作为微控制器，从传感器收集环境数据，如湿度、温度、土壤湿度水平。NodeMCU 集成了一个继电器和 RTC 模块，可以在特定时间灌溉植物，还配备了一个被动红外传感器来检测农田附近的入侵者。检测到后，ESP32 摄像头用于自动捕捉当前状况，随后将通知农民。在检测到极端温度等不需要的情况时，还会向农民发出警告，这可以防止露天焚烧的情况。开发原型的实用性在它无需人工干预的情况下自动灌溉农田的方式是显而易见的。农民可以使用附带的 Android 应用程序监控和手动控制灌溉过程。

一、简介

农业在世界用水量中居于首位，其中农业和粮食生产占比高达 70% [1]，也是促进经济增长的主要部门之一。除了在提供原材料和主要粮食来源方面的重要性之外，农业还有助于

2017年占国民总收入的8.2%[2]，是一个国家收入的重要组成部分。由于该部门使用了如此多的水，人们会期望水资源更多的利用于农业。

然而，造成水资源浪费的最大原因之一无疑是灌溉效率低下。这在许多灌溉系统中都可以看到，这些系统仍然依赖于传统和广泛使用的方法，例如使用图 1 所示的喷壶。

然而，一个重要的限制是农民难以监测和灌溉偏远地区的农田。水的低效利用导致植物过度消耗水。此外，农民有时无法预测合适的用水量，这会影响植物的质量（过多或过少），并可能导致水资源浪费。此外，人工监测农田可能会导致人为错误，并且对于某些类型的农村地区（例如与野生动物区接壤的地区）也存在风险和潜在危险。



图1。 手动灌溉系统（奥德，2019 年）

手动监控也很耗时，因为大多数农民在农田里花费大量时间。此外，在人工监控方法中，农民不会意识到作物中有任何可能损坏或偷窃植物的入侵者（动物或人类）。因此，考虑到提高作物生产力、确保用水效率和确保作物质量的关键愿望，该项目开发了一种可以帮助农民自动高效地为植物浇水的自动灌溉系统。本文的工作旨在根据特定条件使用传感器触发农田浇水，从而提供有效的用水量。此外，这个项目还专注于开发一个移动应用程序 to monitor，显示来自环境的实时数据，并基于各种传感器在检测到入侵者时通知用户。这简化了农业活动并降低了农作物受损或被盗的可能性。

该项目是在最新的物联网 (IoT) 技术的帮助下开发的，该技术可以使用多个现场传感器实时测量温度和土壤湿度水平。开发的系统还可以通过互联网远程监控灌溉系统。物联网是一项新兴技术，目前正在渗透到其他自动化系统，如智能家居、智能农业、智能工厂和可穿戴智能手环。物联网技术可以提供实施自动灌溉系统的有效方法。

2. 相关工作

多年来，开发智能农业系统的研究引起了研究人员的极大关注。以下小节讨论了市场上可用的几种智能农业和入侵检测。

2.1 智能作物监测系统

在文献中发现了一些相关的作品。Ashifuddinmondal 和 Reheena [3] 开发了一个系统来监控植物并通过智能手机控制供水。该系统集成了各种传感器，分别使用土壤湿度传感器和温度传感器来测量土壤的含水量并检测温度。本项目利用树莓派连接传感器和云服务器，用户可以通过蓝牙将智能手机连接到树莓派

模块。作者在 [4] 中提出了一种更快的方法，使用 Wi-Fi 使用 Arduino 将传感器数据发送到云。这也可以一次连接到多个设备。

接下来，Jindarat 和 Wuttidittachotti [5] 进行了改进，他们引入了一个系统，可以跟踪天气条件的环境，包括养鸡场的湿度、温度、大气性能和风扇功率控制。使用这种设计，农民可以使用智能手机轻松监测和控制他们的农场状况。[6] 中也提出了类似的方法。在此设计中进行了进一步增强，包括使用智能手机和 Web 应用程序进行农场监控。这显着使系统更易于使用，并且可以从多个设备监控农场。

在 [7] 中可以看到进一步的改进，使用网络摄像头通过有效地捕获植物的延时图像来监控作物田的远程位置。类似的方法也在

[8] 更安全的设计。该系统使用了一个物联网平台，例如基于农业气象系统的葡萄栽培病害预警系统。该系统用于使用安全无线或执行器传感器监控葡萄园，而服务器子系统用于将数据传输到服务器。作者在 [9] 中提出了一种增强方法。两种软件用于产生农民所需的解决方案推荐，它们是 PHP 编程语言和 MATLAB 来管理和同步物联网传感器，以便根据特定的传感器范围轻松读取。

2.2 自动灌溉系统

[10] 中的文章描述了一个系统，该系统被开发用于管理灌溉系统的水流和电力管理。在此设计中，使用模糊专家方法的近似信息计算最佳供水量。作者提出了一种类似的技术

[11]。这个后来的系统通过利用番茄植物评估了基于事件的灌溉系统。该方法用于减少用水量以提高系统效率。除此之外，[12] 中作者提出的系统利用太阳能等可再生能源来实现自动灌溉系统。这种方法的主要目标是开发一种低成本和基于时间的灌溉系统。[13] 提出了一种类似的灌溉系统方法，主要集中在提供一个活跃的现代灌溉系统 (MIS)，该系统依赖于 Arduino Nano 使用的湿度控制和特定的种植园修改。该项目可以减少用水量并保护作物免受损害。

2.3 智能作物监测和自动灌溉系统

[14] 中的文章开发了一种系统，通过集成各种传感器来检测作物的土壤湿度和温度，从而通过智能手机监控植物并控制供水。[15] 提出了一种类似的技术。该系统使用 Wi-Fi 等无线传输方式，通过 Arduino 和以太网连接将数据发送到云端。这提高了数据传输的速度，还可以一次连接到多个设备。[16] 中的另一种灌溉方法更安全，因为该系统在其设计中侧重于安全机制。红外传感器用于检测周围区域的入侵者（人或动物）。检测到后，数据将发送到云端以提醒农民。[17] 中的系统使用运动传感器来检测障碍物，这是更可靠的，因为运动传感器可以检测和区分周围的生物或非生物。除此之外，与红外传感器相比，运动传感器可以检测到的最大距离更长。

[18] 中提出的工作使用水位传感器来监测水箱内的水位。该系统还使用两种类型的喷头：灌溉和高架喷头。如果周围温度和水位高，则会启动高架洒水喷头。否则，如果温度高水位低，灌溉喷头将被打开。[19] 中的一种方法通过云计算实现精准农业，优化水肥的使用，同时最大限度地提高作物产量，并帮助分析田间的天气条件。所提出的系统还降低了硬件复杂性并改善了作物的田地和整体生产。

3. 提议的系统

3.1 系统概述

本节解释了拟议设计的详细信息及其运作方式。该项目的主要思想将用流程图和框图进行阐述和描述。图 2 显示了使用 ESP32 NodeMCU 作为主要硬件的拟议系统的总体概述。微控制器充当系统的大脑，其中温度和湿度、红外线和土壤湿度传感器向其提供数字信息并在何处处理信息。这些传感器的输入将用于根据规定的说明打开或关闭电动泵。土壤湿度传感器放置在靠近作物的土壤内部，以检测土壤的湿度。温度和湿度传感器位于作物后面，用于测量周围空气的温度和湿度。从所有传感器收集的所有数据都将显示在位于农田附近的 LCD 上，以进行监控。收集到的信息将使用微控制器上传到 Firebase 云，其中所有数据将由服务器指示存储在数据库中。此外，开发的移动应用程序将显示从数据库中检索到的数据。用户可以访问和控制他们的自动灌溉系统，并通过他们的智能手机监控作物。使用这种方法，用户可以有效地监控作物并跟踪作物周围的土壤、温度和湿度的实时数据状况。收集到的信息将使用微控制器上传到 Firebase 云，其中所有数据将由服务器指示存储在数据库中。此外，开发的移动应用程序将显示从数据库中检索到的数据。用户可以访问和控制他们的自动灌溉系统，并通过他们的智能手机监控作物。使用这种方法，用户可以有效地监控作物并跟踪作物周围的土壤、温度和湿度的实时数据状况。收集到的信息将使用微控制器上传到 Firebase 云，其中所有数据将由服务器指示存储在数据库中。此外，开发的移动应用程序将显示从数据库中检索到的数据。用户可以访问和控制他们的自动灌溉系统，并通过他们的智能手机监控作物。使用这种方法，用户可以有效地监控作物并跟踪作物周围的土壤、温度和湿度的实时数据状况。

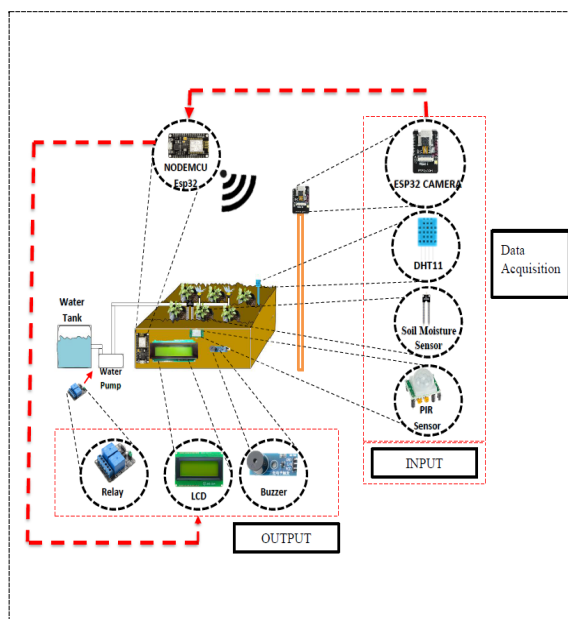


图 2。数据采集和灌溉系统的整体系统概述

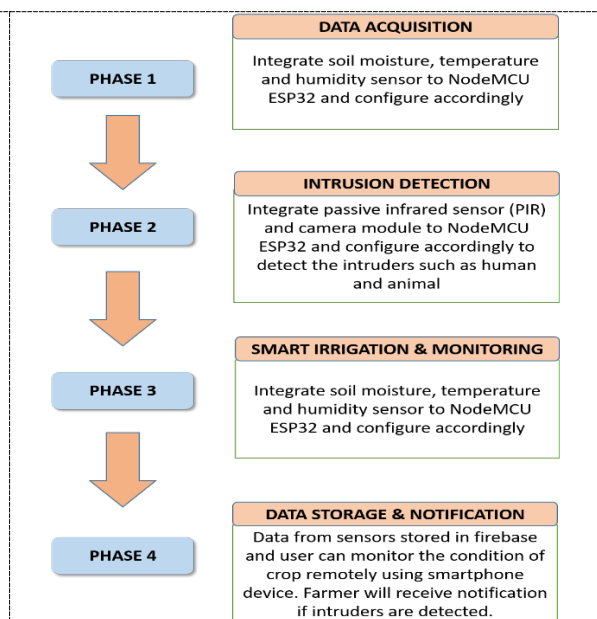


图 3。项目总体结构

除此之外，该系统还可以用作入侵检测系统，以防止可能损坏农作物或任何未经授权人员的存在的不受欢迎的动物的访问。这可以在被动红外 (PIR) 传感器的帮助下完成。PIR 传感器安装在农田前面以检测任何类型的入侵。如果 PIR 传感器检测到入侵，警报将自动激活。系统旨在每次系统处于自动或手动模式时将检测到的信号发送到数据库。可以从用作数据库的个人计算机跟踪这些信号。

3.2 项目总体结构

本节详细阐述了项目从开始到完成的拟议流程。该项目可分为 4 个阶段，如图 3 所示，而图 4 显示了智能作物监测和自动灌溉系统的框图。微控制器与电源相连，然后连接到几个输入传感器和被动红外传感器。继电器、LCD、蜂鸣器等输出模块与 NodeMCU 相连，提供输入，分别用于启动灌溉水、显示传感器当前数据和启动报警。微控制器还具有使用 Wi-Fi 技术在线链接数据的能力。下面对系统中使用的块模块进行说明，如数据采集、

输出、入侵检测、云存储模块和监控分析模块。

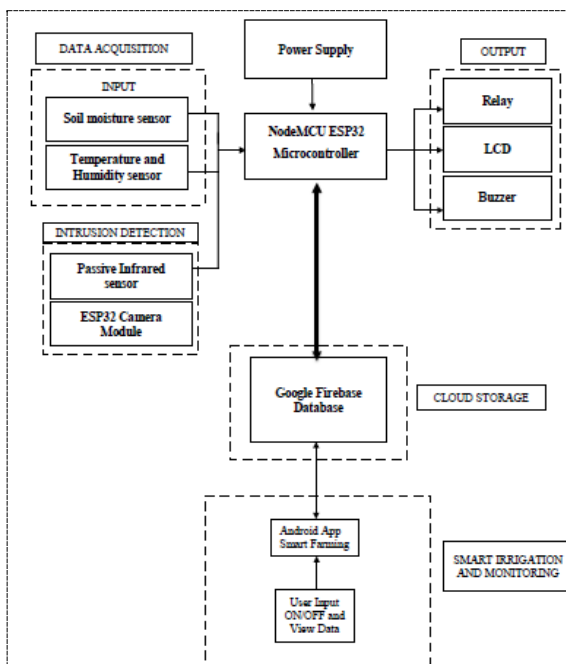


图 4. 智能作物监测和自动灌溉系统的顶层设计

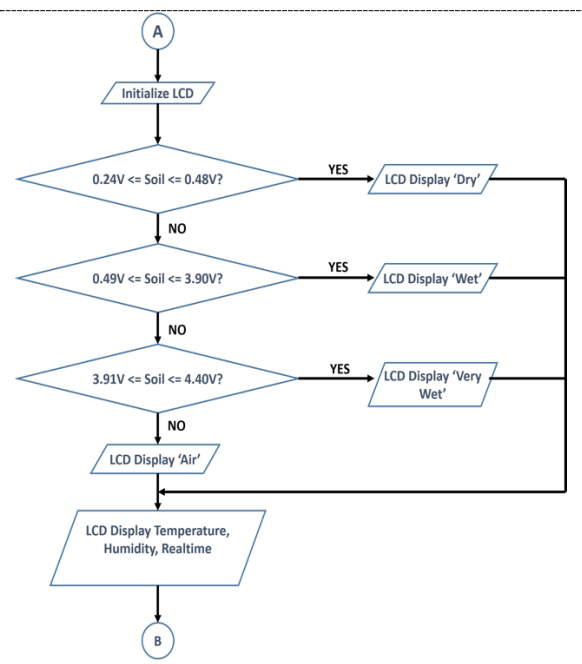


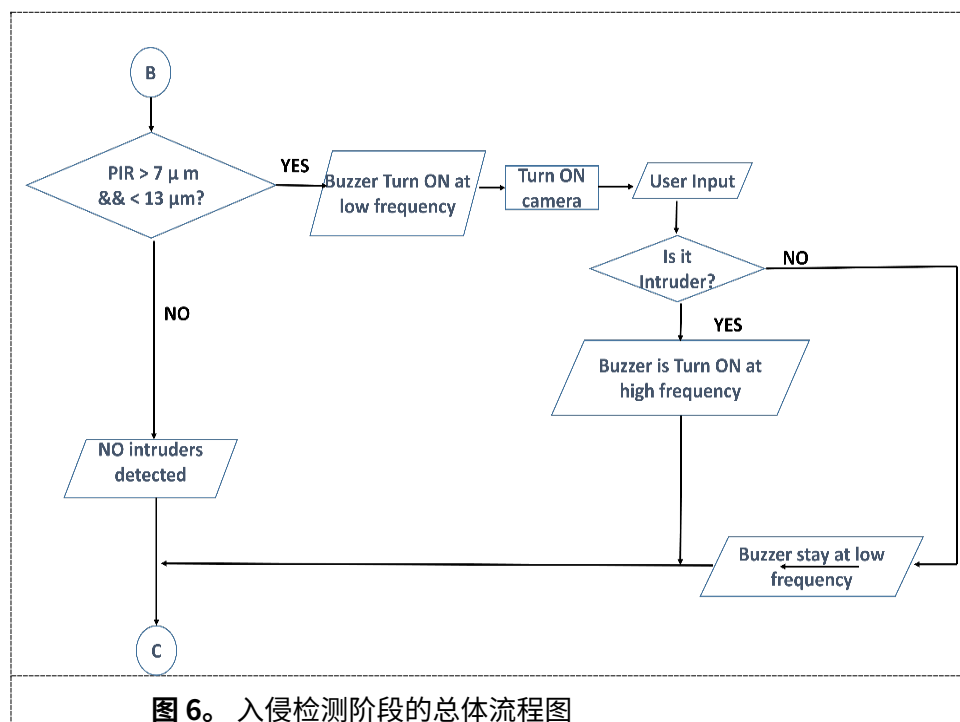
图 5. 数据采集流程图

3.2.1 第一阶段：数据采集。数据采集过程如图 5 所示。该阶段从初始化 LCD 开始，是初始化所有传感器和设置 RTC 之后的后续过程。两个传感器用于测量作物状况的当前数据。第一个传感器用途是土壤湿度传感器。该传感器根据土壤水分接收到的电阻来测量土壤状况。该传感器有两种类型的输入，即模拟输入和数字输入。如果该值设置为模拟，则用户只能看到该传感器接收到的当前电压。但是，如果用户将该值设置为数字，则用户可以读取 ASCII 值，即 0 到 1023 之间的值。较低的值反映土壤水分更干燥，反之亦然。

本项目中使用的第二个传感器是温湿度传感器 (DHT11)。该传感器测量作物周围的当前温度和湿度。根据雨水等自然环境的水量，下雨天的湿度和温度读数会更高。但是，如果条件干燥，则湿度和温度会降低。此外，这些传感器测量的所有数据都被收集并使用 Wi-Fi 连接发送到云端。该阶段将继续到下一阶段，如“B”所示，代表入侵者检测阶段。

3.2.2 阶段 2：入侵检测。入侵检测流程如图 6 所示。该项目使用被动红外 (PIR) 传感器来检测作物田间是否发生入侵。PIR 传感器可以检测人类和动物等活体障碍物。传感器通过检测物体的温度和波长来工作。如果传感器检测到的物体或障碍物符合要求，因为传感器检测到人和动物的存在，传感器会将数据发送到 NodeMCU 微控制器。一旦检测到，微控制器将通过打开蜂鸣器和摄像头模块来激活警报。摄像头会记录当前情况，并将拍摄到的图像的实时数据传输到云端。

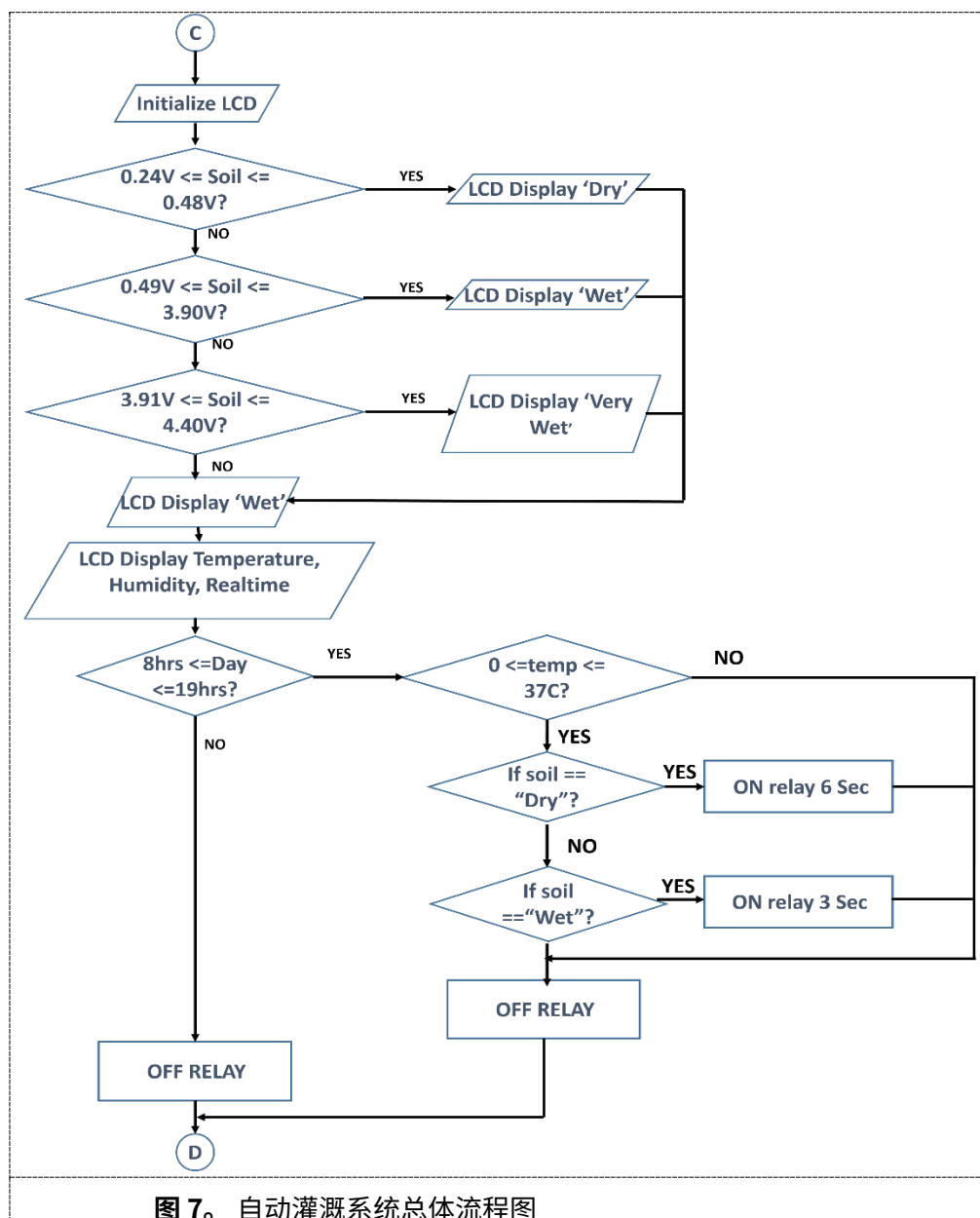
因此，有关入侵者的通知将通过智能手机发送给农民。使用这种方法，农民可以随时监控他们的庄稼，以检查是否有任何入侵者可以偷窃、损坏或伤害他们的植物。如果存在波长介于 $1\ \mu\text{m}$ 至 $13\ \mu\text{m}$ 之间的障碍物，PIR 传感器会检测到入侵。在此范围内检测到的障碍物被视为入侵者，因为 PIR 将检测物体/人发出的红外辐射并阻挡传感器和农田之间的任何空白空间。一旦检测到任何障碍物，位于 NodeMCU 微控制器的摄像头模块将被激活，并通知用户作物位置正在发生入侵。



如果入侵没有损害作物，农民可以通过手动触摸智能手机中的按钮来停止警报。但是，如果确实发生了入侵，农民可以通过手动触摸智能手机内部的按钮来提高蜂鸣器的音量以吓唬或警告入侵者。摄像头会记录当前情况，并将拍摄到的图像的实时数据传输到云端。因此，有关入侵者的通知将通过智能手机发送给农民。使用这种方法，农民可以随时监控他们的庄稼，以检查是否有任何入侵者可以偷窃、损坏或伤害他们的植物。随后，该阶段继续下一阶段（由“C”连接器表示），重点是智能灌溉和监控系统。

3.2.3 第三阶段：智能灌溉和监控系统。如图 6 所示，自动灌溉在该系统中正常运行需要多种条件。自动灌溉系统必须满足特定的预定义要求才能执行其任务。首先，当系统进入自动模式时，它会使用 RTC 模块测量当前时间。

如果系统检测到时间是白天，系统将使用土壤湿度传感器测量土壤状况。它每隔一小时测量一次白天的土壤状况。如果传感器检测到土壤处于干燥状态，串行监视器将显示消息“干燥”在LCD上，如图8所示。在这种情况下，水泵将自动开启6秒，使用继电器模块灌溉植物。但是，如果传感器检测到土壤状况已经潮湿，串行监视器将显示“弄湿”LCD屏幕上的消息和水泵将仅打开3秒钟。开启水泵土壤潮湿条件的决定是为了确保植物的新鲜度和可持续性，直到下一次浇水。但是，重要的是要注意，这种情况下的水量可能足够慢，可能只是洒水。这是为了避免过度浇水已经湿的土壤，这可能会损坏植物。然后，如果传感器检测到土壤很湿或传感器放置在空气周围，水泵将不会启动。此外，如果RTC模块检测到时间是晚上或温度大于38摄氏度，水泵也不会启动。然后，智能灌溉和监控系统作为输入馈送到RTC模块，如图中的“D”连接器所示。



3.2.4 第4阶段：数据存储和通知。图9显示了数据存储和通知阶段的总体流程图。数据存储位于云存储和物联网应用，如 Firebase 数据库平台。数据存储后，数据会发送回智能手机和其他设备，供农民监控。如果入侵者发生并且农田温度过高，农民可以收到通知。

Wi-Fi 通过 NodeMCU 发送的数据将传输到本地内部的云服务器。该云服务器位于计算机内部。云服务器接收到的数据随后将传输到 Firebase 数据库平台，该平台将存储来自传感器的数据。除此之外，该平台还可以显示从微控制器传输的当前数据。如果确定，此云数据库可用于向农民发送通知

达到阈值。

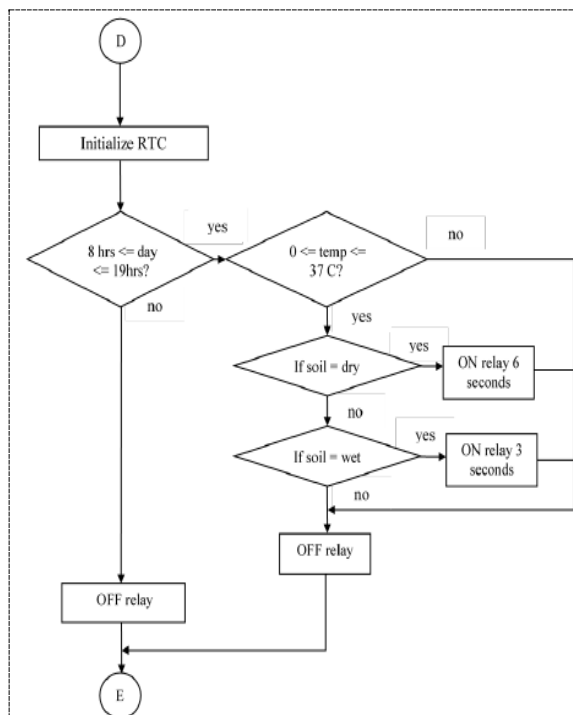


图 8。 自动的总体流程图
灌溉系统阶段

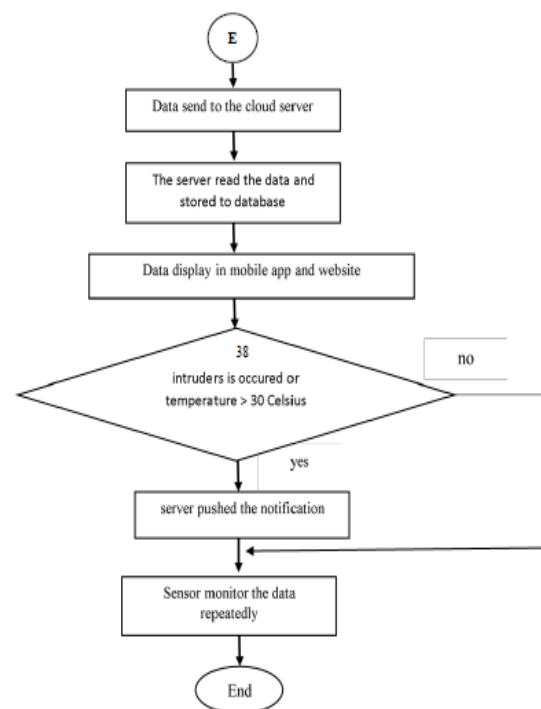


图 9。 数据存储的总体流程图
和通知阶段

4. 结果与讨论

图 10 显示了智能监控和自动灌溉的原型。该项目可以两种模式灌溉水：手动或根据用户输入自动。除此之外，它还可以监测来自农田周围温度、湿度、土壤湿度和运动传感器的当前数据。

该系统具有摄像头，可捕获农田的当前图像以检测是否存在入侵者。项目实施结果如图 11-12 所示，智能手机监控阶段如图 13-14 所示。移动应用程序已开发为用户友好型，因此农民可以以图表形式监控收集的数据并

因此可以计算出植物状况的模式。根据指令集提供的条件，土壤水分传感器有四种状态需要检测土壤的状态水分。该土壤水分的单位值以 0 到 5V 之间的电压测量。如果湿度传感器检测到读数约为 0V，则说明湿度传感器未位于土壤内部，因此放置在空气中。但是，如果土壤值大于0.24V且小于 0.48V，LCD会显示土壤湿度太干，水泵会打开。

另一方面，如果土壤水分值在0.49V和3.90V之间，土壤水分被归类为干燥，如果土壤水分值大于3.91V，土壤水分状况被检测为湿，因此水泵关闭。LCD 上显示的信息列于表中

图 11。

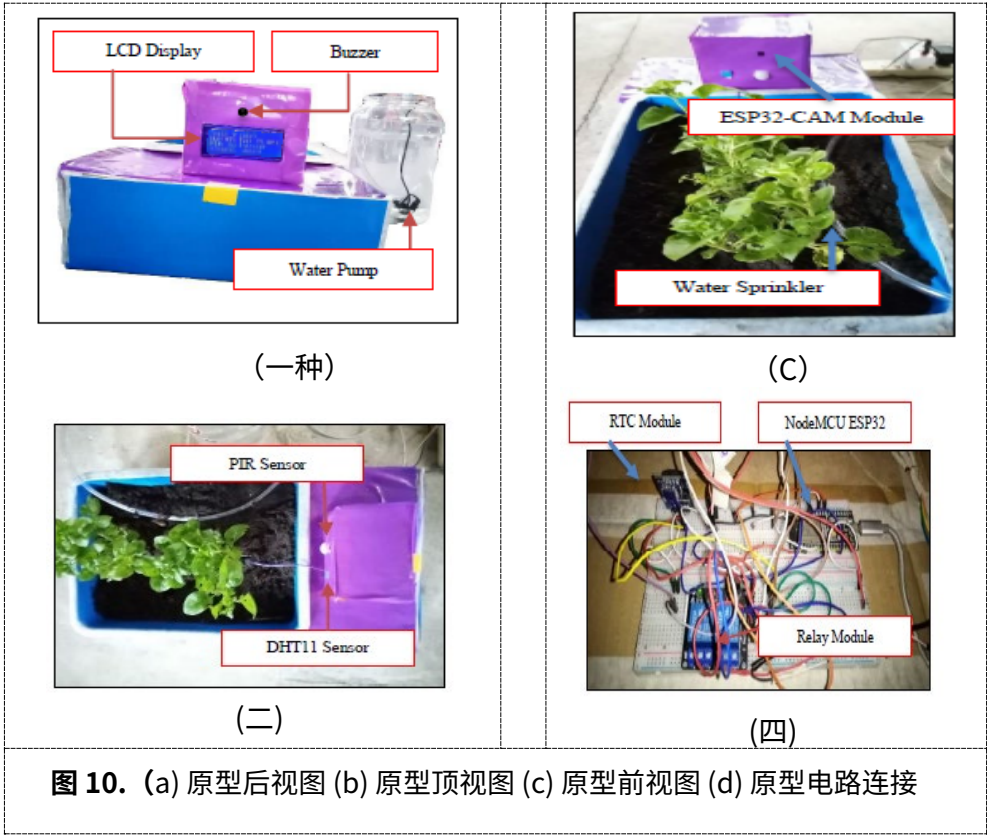


图 12 显示了在检测到入侵者存在时基于运动传感器在 LCD 屏幕上显示的结果消息。如果 PIR 传感器检测到入侵者，LCD 将显示消息“入侵检测”，蜂鸣器将开启。但是，如果传感器没有检测到任何入侵者，LCD 将继续显示“No intruder”，在此期间，蜂鸣器将关闭。蜂鸣器开启持续时间与 LCD 显示持续时间相同入侵检测”，大约是 6 秒。否则，蜂鸣器将始终关闭。出于安全考虑，只有注册用户（农民）才能访问移动应用程序，如图 13 所示。首先，用户需要使用注册电子邮件登录系统。如果用户还没有注册，他们需要通过点击“登记”按钮，将被重定向到注册页面如图14所示，如果注册成功，用户需要在登录页面内重新登录，页面将显示“注册成功”。如果注册过程中注册失败，android应用下方会弹出错误提示并显示“密码太短或用户名无效，注册失败”。

填写用户邮箱和密码要求后，如果登录成功，将返回如图13所示的SCMIS系统首页。尽管如此，

如果登录失败，Android 应用程序下方将弹出错误通知并“密码用户名无效，登录失败”将显示。ESP32 每隔一分钟将感应到的数据传输到 Firebase，并在收到来自 ESP 微控制器的新数据后触发时间戳。

Condition (value in ASCII)	LCD Display
Soil = 0 V	Soil: 0 V (air) Hum: 95% Tem: 28.60°C PIR: Intruder Detect 17:54:38 Water: ON
0.24 V <= Soil <= 0.48 V	Soil: 0.41V (too dry) Hum: 95% Tem: 28.80°C PIR: Intruder Detect 18:0:35 Water: ON
0.49 V <= Soil <= 3.90 V	Soil: 2.43V (dry) Hum: 95% Tem: 28.90°C PIR: Intruder Detect 18:2:52 Water: ON
3.91 V <= Soil <= 4.4V	Soil: 4.06V (wet) Hum: 95% Tem: 28.90°C PIR: No Intruder 18:8:8 Water: OFF

图 11. 检测到的系统显示
状况

Condition	LCD Display
Intruders Detected	Soil: 2.43V (dry) Hum: 95% Tem: 28.90°C PIR: Intruder Detect 18:2:52 Water: ON
No Intruders	Soil: 4.06V (wet) Hum: 95% Tem: 28.90°C PIR: No Intruder 18:8:8 Water: OFF

图 12. 入侵检测

时间戳可用于检测数据发布的当前日期和时间。除此之外，Ionic 应用程序用于通过使用提供的图形来监视数据 *Plotly.js* 程序开发过程中的插件。图 16 显示了由离子绘制的温度、湿度和土壤水分数据图。此外，农民还可以查看摄像头发送的入侵者图像。这可以帮助他们识别和识别它是否是真正的入侵者并根据需要执行适当的操作。相机检测到的图像示例如图 18(b) 所示。这个开发的移动应用程序还可以每天监测农田周围的温度、湿度和土壤的读数，因为

如图 17 所示。

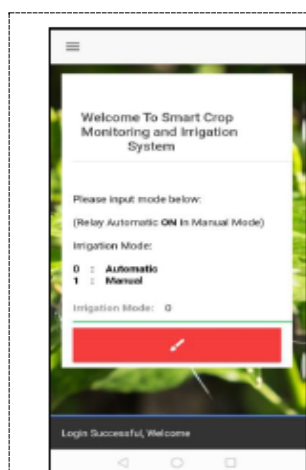


图 13. 移动的
应用

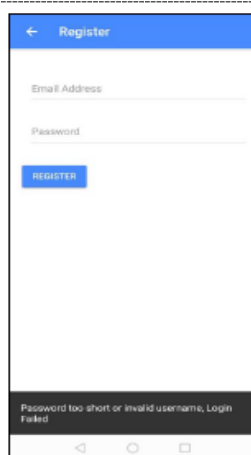


图 14. 流动应用程式
登入页面

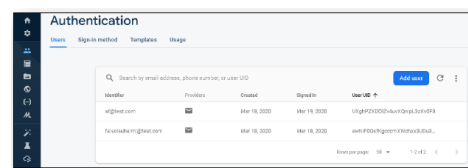


图 15. 身份验证数据库

所有数据永久显示在图表中，但用户可以使用 android 应用程序编辑和修改数据内容。除此之外，图 18(a) 显示了 Firebase 数据库记录的传感器值信息。x 轴代表 12 天收集的天数。如果农民想使用 Android 应用程序更改 Firebase 数据库中的任何数据，该系统提供了查看、添加、删除和编辑功能。

该系统还配备了入侵者检测系统。android 应用程序将使用 ESP32-Cam 捕获作物田的当前图像。除此之外，ESP32-Cam 需要互联网连接才能将信息发送到数据库。每 4 秒将捕获一次图像并将其传输到 Firebase 数据库。图像将以 base-64 格式存储在 firebase 中，稍后将由 ionic 应用程序检索和显示。图 18(b) 显示了入侵者检测图像

安卓应用程序。

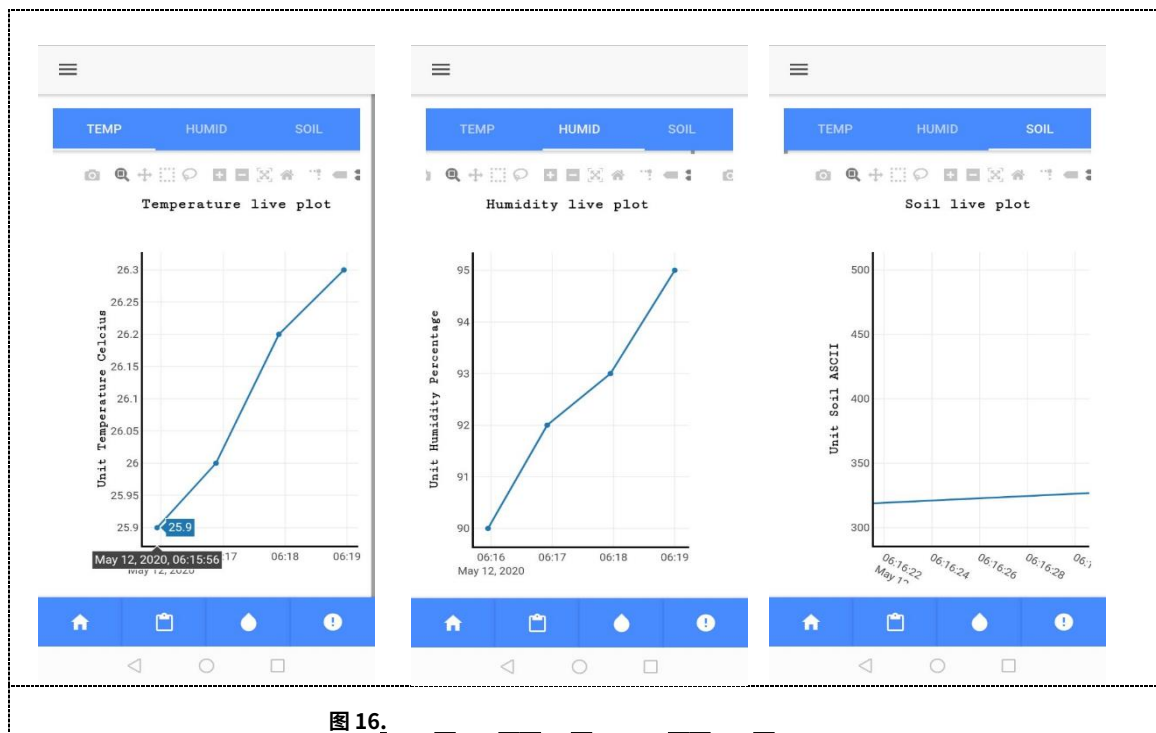


图 16.

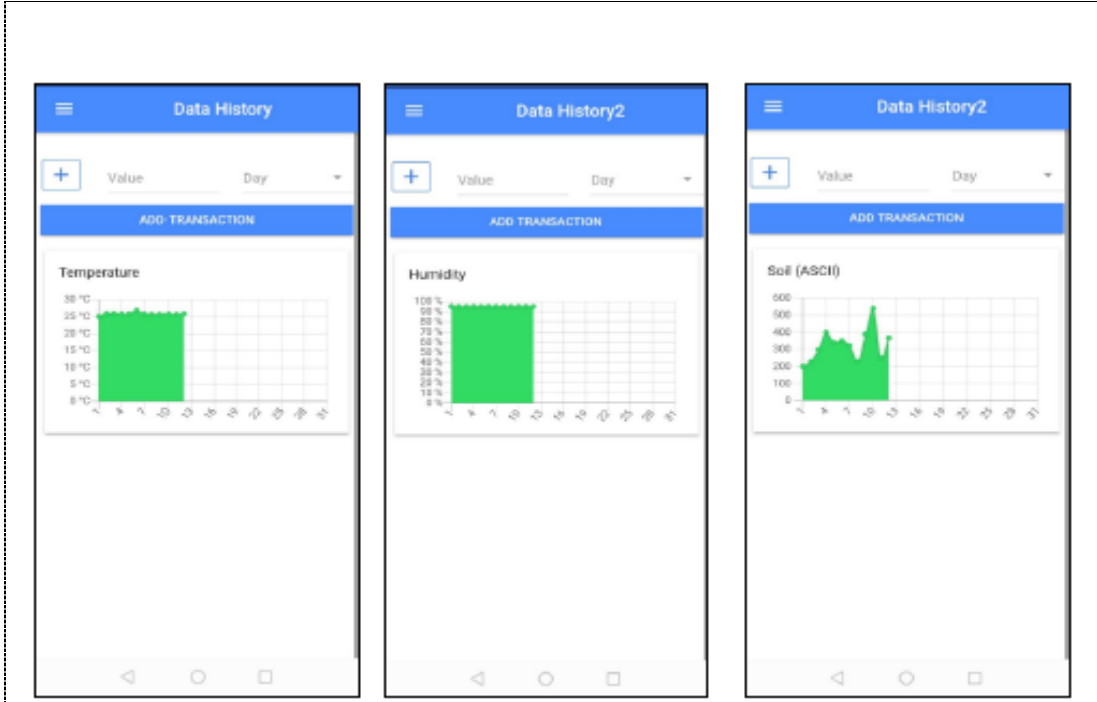
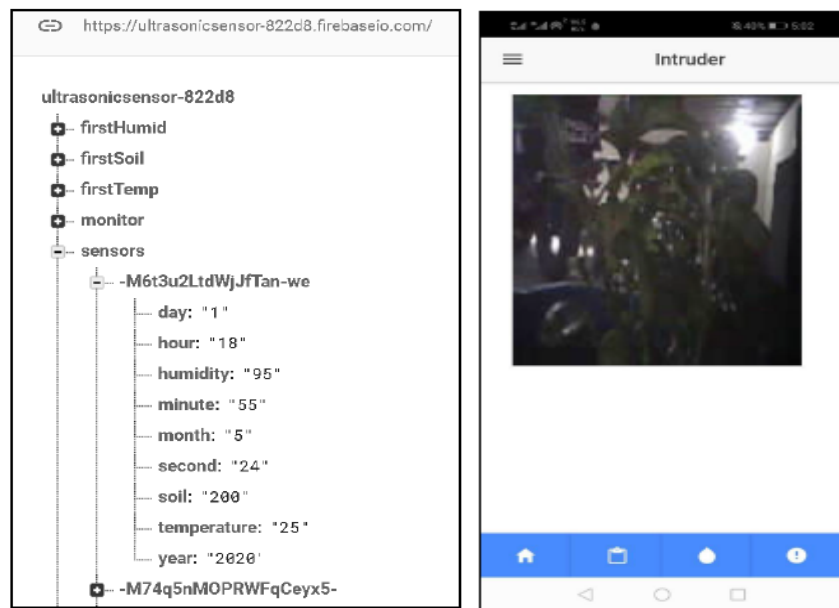


图 17



(一种)

(二)

图 18。

5. 结论和未来工作

该项目成功地解决了上述问题，并实现了根据特定条件提供高效用水的目标。在建立这个目标时，防止了水的低效使用，因为这种方法根据来自以下方面的输入减少了工厂的用水量

传感器。第二个目标是开发一个移动应用程序来监控、显示来自作物田间环境的实时数据，并根据用于缓解农民活动的各种传感器在作物中发生入侵者时通知用户，并有助于降低植物被入侵的可能性。被损坏或被盗。这个目标也实现了，因为该系统可以完全自动化，可以防止人为错误，并且在农村地区实施时更加安全。

然而，这里的工作代表了一个真实系统的工作原型。对于商业化，需要考虑一些增强。首先，使用带有机器学习的摄像头可以提高入侵者的检测精度，而无需农民的帮助。而且，所使用的被动红外传感器只能在活体和非活体之间进行观察。它在检测过程中无法区分动物或人。从动物的角度来看，这种传感器有一定的局限性，它无法追踪动物是否对植物构成威胁。

参考：

- [1] Rosegrant, MW, Ringler, C., & Zhu, T. (2009)。农业用水：在日益稀缺的情况下维持粮食安全。环境与资源年度回顾，34(1), 205–222.
- [2] Kei, HM, Perhubungan, P., Bahagian, A., Strategik, K., Jabatan, A.和马来西亚, P. (2018)。Siaran Akhbar: Indikator Pertanian Terpilih. 从...获得
<https://www.dosm.gov.my/v1/index.php?r=column/pdfPrev&id=d3g5T2VOQUpEYzRLNi9ZZGMzdm5TUT09>
- [3] Ashifuddinmondal, M., & Rehena, Z. (2018)。基于物联网的智能农业田间监控系统。Confluence 2018 第八届云计算、数据科学与工程国际会议论文集，Confluence 2018，625-629。
- [4] Prathibha, SR, Hongal, A., & Jyothi, MP (2017)。智能农业中基于物联网的监控系统。论文集 - 2017 年电子和通信技术最新进展国际会议，ICRAECT 2017，81-84。
- [5] Jindarat, S., & Wuttidittachotti, P. (2015)。使用 Raspberry Pi 和 Arduino 的智能农场监控。I4CT 2015 - 2015 第二届计算机、通信和控制技术国际会议，艺术论文集，(I4ct)，284–288。
- [6] Siregar, B., Efendi, S., Pranoto, H., Ginting, R., Andayani, U., & Fahmi, F. (2017)。水培种植介质远程监控系统。2017 年智能社会 ICT 国际会议，ICISS 2017，2018-Janua，1-6。
- [7] Baranwal, T., Nitika, & Pateriya, PK (2016)。开发基于物联网的农业智能安全和监控设备。2016 年第六届国际会议论文集 - 云系统和大数据工程，Confluence 2016，597-602。
- [8] Suci, G., Istrate, CI, & Ditu, MC (2019)。通过隔离确保智能农业监控技术。全球物联网峰会，GloTS 2019 - 会议录，1-5。
- [9] Kurniawan, F., Nurhayati, H., Arif, YM, Harini, S., Nugroho, SMS, & Hariadi, M. (2018)。基于物联网的智能监控农业。会议录 - 第二届印度尼西亚东部计算机和信息技术会议：工业物联网，EIConCIT 2018 年，363-366。
- [10] Abidin, MSBZ, Shibusawa, S., Buyamin, S., & Mohamed, Z. (2015)。节水栽培毛细灌溉系统智能控制[J]。2015 年第 10 届亚洲控制会议：可持续世界的新兴控制技术，ASCC 2015，1-5。
- [11] Pawlowski, A., Sánchez-Molina, JA, Guzmán, JL, Rodríguez, F., & Dormido, S. (2017)。温室番茄作物基于事件的灌溉系统控制方案的评价。农业水资源管理，183, 16-25。
- [12] Alex, G., & Janakiranimathi, M. (2016)。基于太阳能的植物灌溉系统。IEEE 会刊 - 第二届国际电气、电子进展会议。

- [13] Komal Kumar, N., Vigneswari, D. 和 Rogith, C. (2019)。基于有效水分控制的现代灌溉系统 (MIS) 与 Arduino Nano。2019 第五届高级计算和通信系统国际会议, ICACCS 2019, 70-72。
- [14] Vaishali, S., Suraj, S., Vignesh, G., Dhivya, S. 和 Udhayakumar, S. (2017 年)。使用物联网的移动集成智能灌溉管理和监控系统。2017 年 IEEE 国际通信与信号处理会议论文集, ICCSP 2017, 2018-Janua, 2164-2167。
- [15] Rajalakshmi, P., & Devi Mahalakshmi, S. (2016)。基于物联网的农田监测和灌溉自动化。第 10 届智能系统与控制国际会议论文集, ISCO 2016, 1-6。
- [16] Shri Pradha, R., Suryaswetha, VP, Senthil, KM, Ajayan, J., Jayageetha, J., & Karhikeyan, A. (2019)。使用物联网的农业田间监测。2019年第五届国际会议。
- [17] Sushanth, G., & Sujatha, S. (2018)。基于物联网的智能农业系统。2018 年无线通信、信号处理和网络国际会议, WiSPNET 2018, 1-4。
- [18] Pandithurai, O., Aishwarya, S., Aparna, B., & Kavitha, K. (2017 年)。农业技术：使用物联网 (IOT) 监测土壤和作物的数字模型。ICONSTEM 2017 - 论文集：第三届 IEEE 科学技术、工程和管理国际会议, 2018- Janua, 342-346。
- [19] Nageswara Rao, R. 和 Sridhar, B. (2018 年)。基于物联网的智能农田监测和自动化灌溉系统。第二届创新系统与控制国际会议论文集, 2018 年 ICSC, (Icisc), 478-483。