

Diseño de un sistema IoT para el monitoreo y control inteligente de cultivos mediante algoritmos de decisión basados en series temporales.

1st Osio Chávez I. de J.
Dpto. Sistemas Electrónicos
Universidad politécnica de Texcoco
Texcoco, México
ivan.osio@uptex.edu.mx

2nd Luna Becerril E. J.
Dpto. Tecnologías de la Información e Innovación Digital
Universidad politécnica de Texcoco
Texcoco, México
edurneth.luna@uptex.edu.mx

Abstract—En el contexto del cambio climático y el aumento de la demanda global de alimentos, la agricultura enfrenta el desafío de maximizar la producción con un uso eficiente de recursos, especialmente el agua. Tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y los algoritmos de predicción en series temporales ofrecen soluciones para mejorar la gestión agrícola. Un sistema basado en IoT permite obtener datos en tiempo real sobre condiciones ambientales, mientras que un algoritmo predictivo anticipa necesidades de riego y ventilación. Este proyecto propone diseñar un sistema de bajo consumo energético para monitorear variables clave como temperatura, humedad y gases, utilizando estos datos para predecir condiciones futuras y optimizar la toma de decisiones en el manejo de cultivos. La automatización mediante IoT promueve una agricultura más inteligente, sostenible y accesible.

Index Terms—cambio climático, agricultura sostenible, internet de las cosas (IoT), Algoritmos predictivos.

I. INTRODUCTION

En la actualidad, la agricultura enfrenta desafíos sin precedentes debido al impacto del cambio climático y al crecimiento sostenido de la población mundial. La necesidad de garantizar la seguridad alimentaria y al mismo tiempo preservar los recursos naturales ha impulsado la búsqueda de soluciones innovadoras para aumentar la eficiencia en la producción agrícola. Entre estos recursos, el agua desempeña un papel crítico, ya que su uso desmedido no solo compromete la sostenibilidad de los cultivos, sino que también afecta los ecosistemas circundantes.

La incorporación de tecnologías avanzadas en el ámbito agrícola ha abierto nuevas oportunidades para abordar estos desafíos. El Internet de las Cosas (IoT), junto con algoritmos de predicción basados en series temporales, se ha posicionado como una herramienta prometedora para optimizar la gestión de los recursos. Estas tecnologías permiten un monitoreo constante y detallado de las condiciones ambientales, así como la capacidad de anticiparse a las necesidades del cultivo, como el riego y la ventilación.

El presente trabajo se centra en el diseño de un sistema agrícola inteligente que combina el monitoreo en tiempo

real de variables clave como la temperatura, la humedad y la concentración de gases con algoritmos predictivos que facilitan la toma de decisiones informada. Este enfoque busca no solo maximizar la eficiencia en el uso de recursos, sino también reducir el consumo energético, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y accesibles para una amplia gama de productores.

II. INTERNET DE LAS COSAS EN LA AGRICULTURA

A. El Internet de las Cosas (IoT): Conceptos Clave

El Internet de las Cosas (IoT) es una tecnología que conecta dispositivos físicos, como sensores, actuadores y máquinas, a través de Internet, permitiéndoles recopilar y compartir datos de forma autónoma. Estos dispositivos están equipados con sensores que monitorean variables del entorno, como temperatura, humedad, luminosidad o concentración de gases. Esta información se transmite a sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos, donde se analizan para generar respuestas automáticas o alertas.

En la agricultura, IoT ofrece la posibilidad de monitorear en tiempo real variables críticas que afectan al crecimiento de los cultivos, como la humedad del suelo, la temperatura ambiental y las concentraciones de gases en invernaderos. Estos datos son esenciales para la toma de decisiones sobre riego, fertilización, control de plagas y otras prácticas agrícolas.

B. Aplicaciones del IoT en la Agricultura

Las aplicaciones del IoT en la agricultura son diversas y abarcan desde la gestión de recursos hasta el monitoreo de la salud de los cultivos. Entre las principales aplicaciones se destacan las siguientes:

Monitoreo Ambiental: Los sensores IoT permiten medir en tiempo real variables como la temperatura, humedad, concentración de CO₂ y la luz solar, proporcionando información precisa para optimizar las condiciones de crecimiento de los cultivos. Este monitoreo continuo es esencial para identificar cambios en las condiciones ambientales que podrían afectar la producción.

Riego Inteligente: Uno de los mayores retos en la agricultura es el manejo eficiente del agua, un recurso escaso en muchas partes del mundo. Los sistemas de riego basados en IoT permiten medir la humedad del suelo y controlar el riego en función de las necesidades reales de los cultivos. Esto no solo reduce el desperdicio de agua, sino que también mejora la salud de las plantas y la eficiencia en el uso de recursos.

Gestión de Fertilización: A través de sensores de nutrientes, es posible monitorear el nivel de fertilizantes en el suelo y ajustar las dosis para asegurar una nutrición adecuada para los cultivos, minimizando el uso excesivo de fertilizantes y reduciendo el impacto ambiental.

Monitoreo de la Salud de los Cultivos: Los sensores de imágenes y las cámaras térmicas, integrados con algoritmos de visión por computadora, permiten detectar plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales en las plantas. Estos sistemas proporcionan alertas tempranas que facilitan la intervención rápida para evitar daños mayores.

Automatización de Maquinaria: Las máquinas agrícolas, como tractores, sembradoras y cosechadoras, pueden ser equipadas con sensores IoT para monitorear su funcionamiento en tiempo real. Esto permite optimizar el uso de maquinaria y prever mantenimientos, reduciendo costos operativos y mejorando la eficiencia.

III. DISEÑO Y APLICACIÓN DE UNA RED DE SENSORES IOT DE CO₂, TEMPERATURA Y HUMEDAD USANDO LORA WAN PARA MONITOREO EN INVERNADEROS

En la agricultura de precisión, el monitoreo constante de variables ambientales, como el dióxido de carbono (CO₂), la temperatura y la humedad, es crucial para optimizar el crecimiento de las plantas y maximizar la eficiencia del uso de recursos en un invernadero. Sin embargo, muchas veces los invernaderos se encuentran en ubicaciones remotas donde las redes Wi-Fi o Ethernet no están disponibles o no son viables. Para superar estas limitaciones, las redes de sensores IoT (Internet de las Cosas) basadas en tecnologías de largo alcance como LoRa WAN (Long Range Wide Area Network) ofrecen una solución eficiente para la transmisión de datos a grandes distancias con bajo consumo de energía.

En este capítulo, se describe el diseño y la aplicación de una red de sensores IoT para medir CO₂, temperatura y humedad en un invernadero utilizando tecnología LoRa WAN. Los datos obtenidos por los sensores se envían a un servidor central basado en un BeagleBone Black, el cual opera como un servidor MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Además, los valores recolectados se almacenan en una base de datos InfluxDB, proporcionando un sistema robusto de monitoreo y análisis de las condiciones ambientales del invernadero.

A. Diseño del sistema

El diseño de la red de sensores IoT consta de varios componentes clave: los sensores, los nodos LoRa, la infraestructura de comunicación LoRa WAN, el servidor MQTT, y la base de datos InfluxDB.

1) Sensores de CO₂, Temperatura y Humedad:

- Sensor de CO₂: Utiliza tecnologías ópticas o electroquímicas para medir las concentraciones de CO₂ en el aire, lo que es crucial para controlar la fotosíntesis y la ventilación.
- Sensor de Temperatura: Permite monitorear las condiciones térmicas del ambiente, factor crucial para el crecimiento de las plantas.
- Sensor de Humedad: Mide la humedad relativa del aire, que influye directamente en la transpiración de las plantas y la eficiencia del uso del agua.

Estos sensores están conectados a nodos LoRa, los cuales se encargan de transmitir los datos a largas distancias, superando las limitaciones de cobertura de las redes Wi-Fi.

2) *Nodos LoRa y LoRa WAN*: La tecnología LoRa WAN se elige por su capacidad de transmisión a largo alcance (hasta 15 km en campo abierto), bajo consumo energético y costos reducidos. Cada nodo LoRa, conectado a los sensores, transmite los datos de las mediciones de CO₂, temperatura y humedad en intervalos predeterminados. Estos nodos son configurados para comunicarse con una puerta de enlace (gateway) LoRa WAN que actúa como intermediario entre los nodos y el servidor central.

La puerta de enlace LoRa WAN conecta con una red de área amplia de baja potencia, que proporciona la infraestructura para que los nodos envíen sus datos al servidor de forma eficiente. LoRa WAN opera en una red de malla, lo que permite que los nodos se conecten incluso a través de largas distancias y en terrenos difíciles.

3) *BeagleBone Black y MQTT*: El BeagleBone Black actúa como el servidor central que recibe los datos provenientes de los nodos LoRa a través de la puerta de enlace. Este dispositivo es responsable de procesar los mensajes de datos y enviarlos a la base de datos para su almacenamiento y análisis.

Se utiliza el protocolo MQTT para la comunicación entre los nodos LoRa y el servidor. MQTT es un protocolo ligero de mensajería basado en el modelo publicador-suscriptor, ideal para aplicaciones IoT debido a su bajo consumo de ancho de banda y eficiencia en la transmisión de datos. Cada sensor publica sus datos como mensajes MQTT, y el BeagleBone Black se suscribe a estos mensajes para recibir las mediciones de manera eficiente y en tiempo real.

4) *Almacenamiento en InfluxDB*: Los datos recolectados se almacenan en una base de datos de series temporales como InfluxDB, que está optimizada para manejar grandes volúmenes de datos provenientes de sensores y dispositivos IoT. InfluxDB permite almacenar, consultar y analizar de manera eficiente datos de series temporales como las mediciones de CO₂, temperatura y humedad.

La base de datos es configurada para almacenar cada una de las mediciones en registros separados, permitiendo la consulta de datos históricos y el análisis de las condiciones ambientales del invernadero a lo largo del tiempo. InfluxDB

también permite la creación de dashboards personalizados para visualizar los datos en tiempo real.

B. Implementación del Sistema

La implementación del sistema se lleva a cabo en varias fases, que incluyen la configuración de los sensores, los nodos LoRa, el servidor BeagleBone Black, la instalación de la puerta de enlace LoRa WAN, la configuración de MQTT y el establecimiento de la base de datos InfluxDB.

1) *Configuración de Sensores y Nodos LoRa:* Los sensores de CO₂, temperatura y humedad se conectan a los nodos LoRa, los cuales están equipados con microcontroladores como el Arduino o el ESP32 para procesar las lecturas de los sensores y transmitir los datos. Cada nodo se configura para que transmita los datos a la puerta de enlace LoRa WAN en intervalos regulares, como cada 10 o 30 minutos, dependiendo de la necesidad de monitoreo.

2) *Configuración de Sensores y Nodos LoRa:* La puerta de enlace LoRa WAN es instalada en un punto central del invernadero para garantizar que reciba las señales de todos los nodos LoRa. Esta puerta de enlace se conecta a Internet o a la red local a través de Ethernet o Wi-Fi y transmite los datos al servidor BeagleBone Black a través del protocolo MQTT.

3) *Configuración del Servidor BeagleBone Black:* El BeagleBone Black se configura para ejecutar un broker MQTT, como Mosquitto, y se suscribe a los canales correspondientes para recibir las mediciones de los sensores. El servidor también es responsable de almacenar los datos en InfluxDB utilizando una aplicación que consuma los mensajes MQTT y los registre en la base de datos.

4) *Almacenamiento y Visualización de Datos en InfluxDB:* Una vez que los datos están en InfluxDB, se pueden consultar a través de herramientas como Grafana, que permite crear dashboards interactivos para visualizar en tiempo real las mediciones de CO₂, temperatura y humedad. Esto proporciona a los usuarios una interfaz fácil de usar para monitorear las condiciones dentro del invernadero.

C. Resultados

El sistema diseñado ha permitido monitorear de manera eficiente y en tiempo real las condiciones ambientales dentro del invernadero, a pesar de las limitaciones de conectividad. La elección de LoRa WAN ha sido crucial para permitir la comunicación a larga distancia entre los sensores y el servidor, sin necesidad de una infraestructura de red Wi-Fi. Los datos almacenados en InfluxDB y visualizados en Grafana proporcionan una base sólida para análisis posteriores y la toma de decisiones en tiempo real sobre las condiciones ambientales del invernadero.

D. Conclusiones

Este sistema de monitoreo de CO₂, temperatura y humedad utilizando tecnología LoRa WAN demuestra ser una solución efectiva para superar las limitaciones de conectividad en invernaderos remotos. La integración de sensores IoT, LoRa WAN, MQTT e InfluxDB proporciona una infraestructura escalable

y robusta para la recolección, transmisión y almacenamiento de datos ambientales, con aplicaciones potenciales en la optimización del uso de recursos y la mejora de la producción agrícola.

REFERENCES

- [1] A. Shamshiri, C. Weltzien, I. A. Hameed, et al., "Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming," *International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, vol. 11, no. 4, pp. 1–14, 2018.
- [2] S. Misra, P. V. Krishna, A. Agarwal, V. Sharma, y M. S. Obaidat, "Efficient crop selection methodology using IoT and big data analytics for improving farm profitability," *IEEE Systems Journal**, vol. 14, no. 3, pp. 3886–3893, Sep. 2020.
- [3] C. Li, S. Hu, J. Wan, M. Ali, y S. Zou, "A smart agriculture IoT system based on deep reinforcement learning," *Future Generation Computer Systems**, vol. 124, pp. 105–115, 2021.
- [4] O. Vermesan, P. Friess, P. Guillemin, et al., *Internet of Things Strategic Research and Innovation Agenda**, en *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*, River Publishers, 2013, pp. 7–142.