

Diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el internet de las cosas en la agricultura de precisión

HERNÁNDEZ-SALAZAR, Jorge †, RAMOS-FERNÁNDEZ, Julio *, MÁRQUEZ-VERA, Marco †, PESSEL-Nathalie † & BALMAT, Jean †

†Universidad Politécnica de Pachuca

†University of South-Toulon-Var

Recibido: 18 de Julio, 2017; Aceptado 12 de Septiembre, 2017

Resumen

Planteamiento: El presente artículo describe el diseño y fabricación de un sistema de telemetría para la agricultura de precisión con el objetivo de monitorear el riego automático de una producción agrícola en invernadero, tomando como indicativo la evapotranspiración de una planta de referencia.

Metodología: Se desarrolló un módulo de adquisición de variables de bajo costo que lleva a cabo la captura y procesamiento de las variables de microclima presentes en el invernadero; posteriormente con la implementación de un servidor alojado en internet se garantiza la disponibilidad de la información desde cualquier parte del mundo, a la que se puede acceder a través de una conexión a internet.

Conclusión: La principal ventaja del desarrollo del sistema de telemetría es que a través de la integración de nuevas tecnologías basadas en la TIC, permite el monitoreo automático y en tiempo real del riego agrícola y así mismo proporcionan la ayuda necesaria para tomar las mejores decisiones en beneficio de la producción agrícola.

Agricultura de Precisión, Evapotranspiración, Internet, Riego, Telemetría

Abstract

Approach: The present article describes the design and manufacture of a telemetry system for precision agriculture with the objective of monitoring the automatic irrigation of agricultural production in greenhouses, which takes as an indication the evapotranspiration of a reference plant.

Methodology: A low-cost variable acquisition module was developed that performs the capture and processing of microclimate variables present in the greenhouse; later with the implementation of a server hosted on the internet, the availability of information is guaranteed from anywhere in the world, which can be accessed through an internet connection.

Conclusion: The main advantage of the development of the telemetry system is that, through the integration of new ICT-based technologies, it allows the automatic and real-time monitoring of agricultural irrigation and also provides the necessary help to make the best decisions for the benefit of agricultural production.

Precision Agriculture, Evapotranspiration, Internet, Irrigation, Telemetry

Citación: HERNÁNDEZ-SALAZAR, Jorge †, RAMOS-FERNÁNDEZ, Julio *, MÁRQUEZ-VERA, Marco, PESSEL-Nathalie & BALMAT, Jean. Diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el internet de las cosas en la agricultura de precisión. Revista de Simulación Computacional 2017. 1-1: 1-8

† Investigador contribuyendo como primer autor.

* Correspondencia al autor (email: jramos@upp.edu.mx)

Introducción

El rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología en el campo de la electrónica y las comunicaciones, ha permitido que los últimos años sea más accesible el tráfico de información entre personas y equipos, como resultado del progreso tecnológico y la evolución de las computadoras, la aplicación de las telecomunicaciones es cada vez más utilizada para comunicar, monitorear y controlar a distancia procesos industriales, agrícolas y de la vida cotidiana.

El concepto de Internet de las Cosas (*IoT*, *Internet of Things*), fue introducido por primera vez por el profesor Ashton cuando se encontraba realizando una investigación sobre Identificación por Radio Frecuencias (*RFID*, *Radio Frequency Identification*) en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (Haller, Karnouskos, & Schroth, 2008).

El *IoT* describe un escenario en el que todos los dispositivos que tengan la capacidad de conectarse a internet a través de redes fijas o inalámbricas se puedan vincular entre sí, de esta manera permite visualizar situaciones en tiempo real y facilita la toma de decisiones de manera remota. Algunas de las aplicaciones más comunes del *IoT* es en el área de domótica, cuidado de salud, negocios, entre otras (Miorandi, Sicari, De Pellegrini, & Chlamtac, 2012).

La Agricultura de Precisión (AP) engloba un conjunto de técnicas, herramientas y materiales en la producción de los cultivos con el propósito de obtener altos rendimientos. La AP se ha convertido en la integración de tecnología efectiva para la modernización de la producción agrícola, siendo uno de sus propósitos la adquisición e integración de la información digital del proceso productivo para garantizar su calidad (Kropff, Wallinga, & Lotz, 2007), (Minbo, Zhu, & Guangyu, 2013).

Una de las tecnologías de mayor uso en el campo de la AP es el uso de Redes de Sensores Inalámbricos (*WSN*, *Wireless Sensor Network*) conformada por dispositivos electrónicos capaces de medir las principales variables que interactúan en un entorno controlado (Coates, Delwiche, Broad, & Holler, 2013).

El uso de *WSN* permite identificar y predecir el comportamiento del sistema a partir del análisis funcional de las variables y así definir estrategias de control para el microclima en invernaderos, tal como se muestra en (Touati, Al-Hitmi, Benhmed, & Tabish, 2013). Lo que influye directamente en la reducción de los costos de producción y una gestión agrícola más respetuosa con el medioambiente (Burgos-Artizzu, Ribeiro, & de Santos, 2007).

Las redes inalámbricas permiten el despliegue de sensores y actuadores, que facilitan el monitoreo y control de manera autónoma en invernaderos y campos de producción agrícola (Goumopoulos, O'Flynn, & Kameas, 2014).

El internet es el medio de transmisión de información por excelencia, ha cambiado el mundo de la computación de una manera favorable. Ha evolucionado desde el concepto de computación paralela a *Cloud Computing* (Jadeja & Modi, 2012).

La computación en la nube, es una nueva forma de aplicación para el internet y una tendencia reciente en la TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones) (Mejia, 2011).

El campo de la agricultura es un sector que cada vez más, incorpora tecnología en los procesos de producción, esto debido a las ventajas que ofrece el control a distancia.

Análisis de requerimientos

En (Goumopoulos, O'Flynn, & Kameas, 2014), (Bartlett, Andales, Arabi, & Bauder, 2015), (Sesma, Molina-Martínez, Cavas-Martínez, & Fernández-Pacheco, 2015) se muestra la implementación de redes de sensores y la utilización de aplicaciones en dispositivos móviles para la manipulación a distancia de diferentes actuadores. El presente trabajo describe el diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el monitoreo del riego automático y de variables de microclima en invernaderos de manera remota, en el cual se integran múltiples tecnologías basadas en la TIC como redes, comunicaciones y servicios *Web*. El sistema consiste de un módulo de adquisición de variables que se encarga de capturar y procesar los datos de un invernadero experimental, que posteriormente son enviados a un servidor *Web* el cual cumple el objetivo de almacenar la información en internet, y asegurar la disponibilidad de los datos en cualquier momento que sean requeridos por el usuario final para su estudio. En la sección dos se describen los materiales y herramientas necesarias para el desarrollo del módulo de adquisición de variables de microclima y servidor *web*. La sección tres muestra los resultados generados de la implementación del sistema de telemetría y en la sección cuatro se observan las principales conclusiones del sistema.

Materiales y Métodos

Para la elaboración y diseño del sistema de telemetría aplicado a la AP se identificaron tres etapas de desarrollo, las cuales consistieron en a) Identificar los requerimientos que debía satisfacer el prototipo, con el objetivo de establecer los materiales (*Hardware*) y herramientas (*Software*) a utilizar para el desarrollo tecnológico, b) Diseño y fabricación del módulo de adquisición de variables de microclima y del servidor *Web* para el *IoT*, y c) Implementación del sistema de telemetría en tiempo real.

Para el desarrollo del módulo de adquisición de variables se eligió el *Hardware* que se indica en la Tabla 1, útiles para medir el microclima, transmitir y almacenar localmente las siguientes variables: temperatura, humedad relativa, radiación infrarroja, medición indirecta de la masa evapotranspirada de la planta, resistividad eléctrica del sustrato y Déficit de Presión de Vapor (VPD), esta última como indicativo para evaluar condiciones que pueden propiciar enfermedades y plagas (Ramos-Fernández, López-Morales, Lafont, Enea, & j, 2010).

Materiales	Descripción
HX711	Convertidor Analógico-Digital de 24 bits de resolución, diseñado para celdas de carga
RTC DS 1302	Integrado de reloj de tiempo real
Infrarrojo omega OS136	Dispositivo para medir la radiación infrarroja del cultivo
Sensor de humedad YL-39	Integrado para medir la resistividad del sustrato
Módulo de memoria SD	Modulo para respaldo local de información
DHT22	Sensor para medir temperatura y humedad relativa
Balanza Sartorius	Balanza industrial de 70 kg con legibilidad de 0.1g
Bomba brushless	Bomba de agua sumergible
Router de 4 puertos	Permite la comunicación a la red local e internet

Tabla 1 Elección del Hardware para el desarrollo del módulo de adquisición de variables de microclima.

Para la construcción del servidor *Web* se realizó la elección del Software necesario que permitiera la gestión, almacenamiento y disponibilidad de la información recolectada, para ser utilizada por el usuario final. Dichos componentes se encuentran detallados en la Tabla 2, donde se describen algunas características deseadas.

Se agregaron cuatro programas escritos en lenguaje de programación PHP (*PHP Hypertext Preprocessor*) y HTML (*HyperText Markup Language*) en los que se realiza lo siguiente: 1) Permite leer y escribir en la Base de Datos (DB) las variables del microclima enviadas por el Arduino a través de una petición GET, 2) Permite visualizar las variables de microclima en tiempo real a través de una interfaz gráfica de usuario (Página Web), el programa realiza consultas SQL (*Structured Query Language*) sobre la DB, que devuelve la información solicitada por el usuario, la información es representada en forma de graficas de línea, 3) Lleva a cabo la gestión y notificación de mensajería móvil vía SMS (*Short Message Service*) ofrecido por un operador de servicios móviles, cada vez que se genera un riego, la información es enviada a través de una petición GET y 4) Ofrece la gestión para entablar comunicación entre la DB y una aplicación móvil para sistema operativo Android, esta aplicación para teléfonos inteligentes realiza peticiones JSON con consultas SQL para la visualización de las variables de microclima, la información es presentada en forma de texto.

Implementación

En esta etapa de desarrollo se llevó a cabo la implementación del sistema de telemetría el cual fue instalado en un invernadero experimental dedicado exclusivamente a la producción de tomate, ubicado en la localidad de San Miguel la Higa, situado en el municipio de Mineral de la Reforma en el estado de Hidalgo, el resultado de esta etapa de desarrollo se describe a mayor detalle en la sección de “Resultados y discusión” donde se muestra la funcionalidad en tiempo real del sistema.

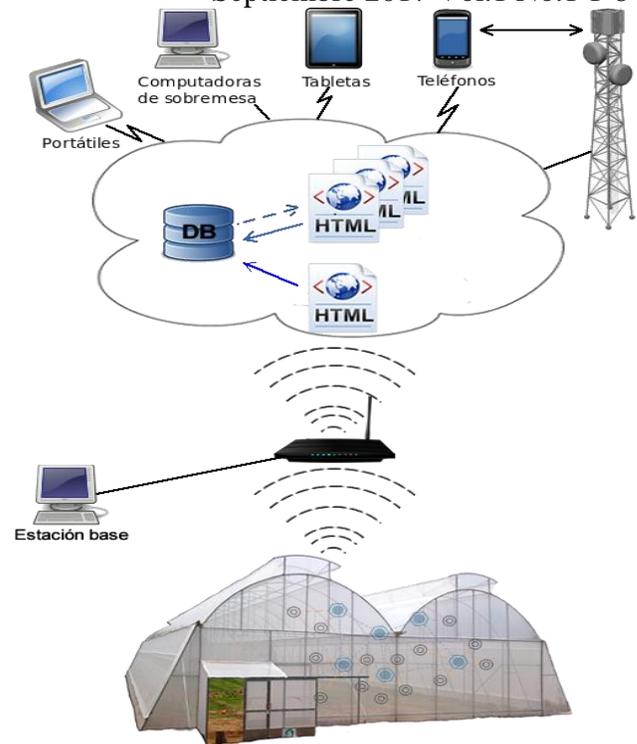


Figura 2 Arquitectura propuesta para el sistema de telemetría.

Resultados y discusión

A partir del desarrollo del módulo de adquisición de variables de microclima se generó una base de datos con importante cantidad de información sobre el comportamiento y la dinámica bioclimática de un invernadero experimental como se puede ver en el Grafico 1.

Con ayuda del lisímetro de balanza implementado en el módulo de adquisición, se monitoreó de manera continua la evapotranspiración de una planta de referencia de la producción total, este método se utilizó para determinar la cantidad de agua perdida por el proceso de evapotranspiración como se observa en el Grafico 2 y con ello poder definir la cantidad de agua a regar en la producción total, al final de cada día se aplicaron riegos para compensar la cantidad de agua perdida , agregando un 10% para generar dren y eliminar sales minerales presentes en el sustrato.

Si durante el transcurso del día la disponibilidad de agua del sustrato se encontraba por debajo del 40% como se expone en (Escalona, Alvarado, Monardes, Urbina, & Martín, 2009) se aplicaron riegos complementarios, esta información se puede conocer a partir de la calibración de los electrodos de continuidad como se aprecia en el Grafico 3, este proceso permite mantener la planta en un estado de saturación hídrica. Utilizando diferentes mediciones de la masa de agua agregada en gramos (gr) y el tiempo de encendido de la bomba en segundos (s), se caracterizó el caudal entregado por la bomba de acuerdo con (1).

$$Q(t) = \begin{cases} 66.16949 * t - 0.4745; & \text{si bomba} = 1, \\ 0; & \text{si bomba} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Donde $Q(t)$ es el caudal entregado por la bomba medido en gramos por segundo (gr/s).

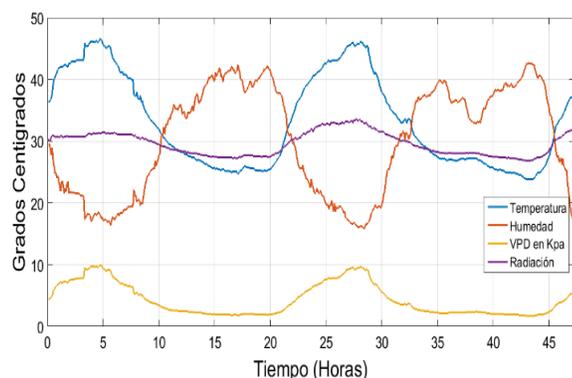


Grafico 1 Comportamiento de las principales variables de microclima.

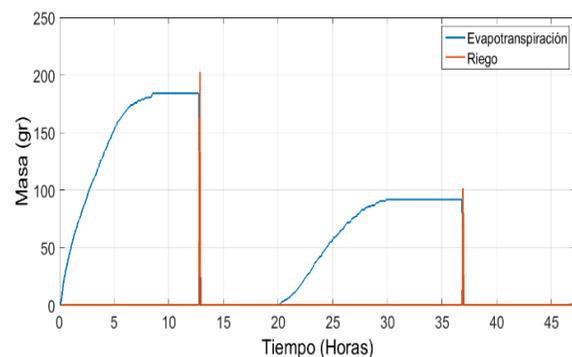


Grafico 2. Comportamiento de la evapotranspiración y riego.

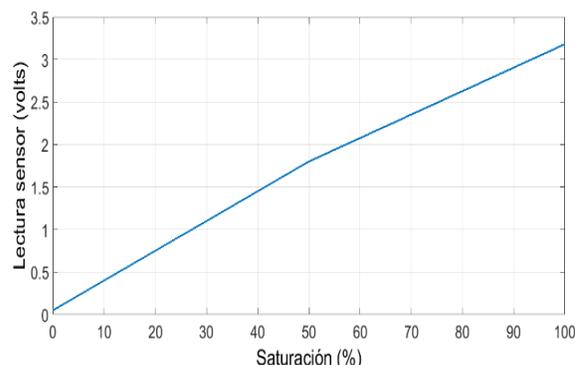


Grafico 3 Calibración del sensor de continuidad.

La experimentación para determinar si el método utilizado para regar la producción total del invernadero era eficiente, se comprobó con la fórmula de balance de masas (2).

$$M_{evap} = M_o + M_{agre} - M_f - M_{dren} \quad (2)$$

Donde, M_{evap} es masa evapotranspirada, M_o en la masa inicial, M_{agre} corresponde a la masa agregada durante cada riego, M_f es la masa final y M_{dren} es la masa drenada. El desarrollo del servidor *Web* permitió instalar múltiples servicios *Web*, uno de estos servicios ofrecidos es la página *Web* (<http://comgara.xyz/>) la cual ofrece la visualización de las variables de microclima de manera gráfica y en tiempo real, este sitio *Web* es de gran ayuda para el usuario final ya que ofrece la impresión y descarga de la misma en formato JPEG, PNG y PDF. La *app* para dispositivos móviles cuenta con cuatro ventanas como se observa en la Figura 3, se puede navegar a partir de un menú de opciones ubicado en la parte superior derecha, la cual vincula a la ventana de las variables del microclima y la ventana del registro de los riegos efectuados en el invernadero. Esta aplicación para dispositivos móviles es atractiva para los productores agrícolas al proporcionar acceso eficaz a la información de las variables de microclima presentes en el invernadero. El uso de la herramienta móvil tiene la ventaja de ser una plataforma portátil y fácilmente accesible.



Figura 3 Ventanas de navegación de la aplicación móvil

Conclusiones

El desarrollo del módulo de adquisición de variables para la agricultura de precisión ofrece una solución rápida, de bajo costo y fácil de elaborar, que permite el monitoreo de variables de microclima en tiempo real dentro de un entorno controlado. Mediante el monitoreo de la humedad del suelo, variables climáticas y balance de masas para determinar la cantidad de agua perdida por el proceso de evapotranspiración, el sistema es capaz de compensar de manera automática el agua perdida más un 10% para generar dren. Del mismo modo proporciona apoyo extra al usuario final para que a partir de su propia experiencia sea capaz de tomar decisiones de manera oportuna. La base de datos con información sobre las variables de microclima define el comportamiento y dinámica del sistema, esta base de datos puede ser utilizada para realizar aprendizaje y definir modelos de predicción de eventos. El desarrollo del servidor *Web* y la implementación y desarrollo de múltiples servicios *Web* proporciona la disponibilidad de la información desde cualquier lugar del mundo donde se cuente con acceso a internet, lo que la convierte en una plataforma eficaz para llevar a cabo la incorporación de múltiples servicios.

La aplicación para dispositivos móviles y la página *Web* proporcionan un medio rápido para que el usuario final pueda acceder a la información.

La aplicación de los riegos de manera controlada, racionada y oportuna en la producción agrícola, permite el uso más efectivo de un recurso muy importante dentro de la agricultura de precisión como lo es el agua.

Agradecimientos

Jorge Adalberto Hernández Salazar, con número de CVU 713181, agradece al CONACyT por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo de investigación.

Referencias

- Apache Software, F. (2016). Apache HTTP Server Project. Obtenido de <http://httpd.apache.org/>
- Arduino. (2015). Introduction to Arduino. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Bartlett, C., Andales, A. A., Arabi, M., & Bauder, T. A. (2015). A smartphone app to extend use of a cloud-based irrigation scheduling tool. *Computers and Electronics in Agriculture*, (111) 127-130.
- Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., & de Santos, M. (2007). Controlador borroso multivariable para el ajuste de tratamientos en agricultura de precisión. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIA*, 4 (2) 64-71.
- Chanchí, G. E., Campo, W. Y., & Amaya, J. P. (2011). Esquema de servicios para Televisión Digital Interactiva, basados en el protocolo REST-JSON. *Cadernos de Informática*, 6(1).

- Coates, R., Delwiche, M., Broad, A., & Holler, M. (2013). Wireless sensor network with irrigation valve control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 13-22.
- Cobo, Á., Gómez, P., Pérez, D., & Rocha, R. (2005). *PHP y MySQL: Tecnología para el desarrollo de aplicaciones web* Primera edición. España: Ediciones Díaz de Santos.
- Escalona, V., Alvarado, P., Monardes, H., Urbina, C., & Martín, A. (2009). Manual del cultivo de tomate.
- Estrada-Corona, A. (2004). Protocolos TCP/IP de Internet. *Revista Digital Universitaria*, 5(8). Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.5/num8/art51/art51.htm>
- Goumopoulos, C., O'Flynn, B., & Kameas, A. (2014). Automated zone-specific irrigation with wireless sensor/actuator network and adaptable decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, (105) 20-33.
- Haller, S., Karnouskos, S., & Schroth, C. (2008). The Internet of Things in an Enterprise Context. *Future Internet Symposium*, 14-28.
- Jadeja, Y., & Modi, K. (2012). Cloud computing-concepts, architecture and challenges. *Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET) IEEE*, 877-880.
- Khare, R. (1996). PEP: An Extension Mechanism for HTTP/1.1. Obtenido de <https://www.w3.org/TR/WD-http-pep-960222>
- Kropff, M. J., Wallinga, J., & Lotz, L. A. (2007). Modelling for Precision Weed Management Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality” (in Ciba Foundation Symposium 210), 182-204.
- Mejia, O. (2011). Computación en la nube. *ContactoS*, (80) 45-52.
- Minbo, L., Zhu, Z., & Guangyu, C. (2013). Information Service System Of Agriculture IoT. *Automatika*, 415-426.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7) 1497-1516.
- MySQL. (2017). *MySQL Reference Manual*. Obtenido de <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/features.html>
- Raggett, D., Le Hors, A., & Jacobs, I. (1999). *HTML 4.01 Specification*. Obtenido de <http://webx.ubi.pt/~hgil/utills/HTML/html40.pdf>
- Ramos-Fernández, J. C., López-Morales, V., Lafont, F., Enea, G., & j, D. (2010). Una estructura neurodifusa para modelar la evapotranspiración instantánea en invernaderos. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11(2) 127-139.
- Sesma, J., Molina-Martínez, J. M., Cavas-Martínez, F., & Fernández-Pacheco, D. G. (2015). A mobile application to calculate optimum drip irrigation laterals. *Agricultural Water Management*, (151) 13-18.
- Touati, F., Al-Hitmi, M., Benhmed, K., & Tabish, R. (2013). A fuzzy logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of Qatar. *Computers and electronics in agriculture*, (98) 233-241.
- TP-LINK. (2011). *Tecnología 802.11n*. Obtenido de <http://www.tp-link.com.mx/article/?faqid=229>