

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE BAJO COSTO PARA UN INVERNADERO BASADO EN TECNOLOGÍA DE ACCESO LIBRE

Felipe de Jesús Becerra Woo

Universidad Politécnica de Aguascalientes

felipe.becerra@upa.edu.mx

Araceli Gárate García

Universidad Politécnica de Baja California

araceli.garate@gmail.com

Tania Aglaé Ramírez del Real

Universidad Politécnica de Aguascalientes

tania.ramirez@upa.edu.mx

Ervin Jesús Álvarez Sánchez

Universidad Veracruzana Campus Xalapa

ervin.alvarezs@gmail.com

Resumen

En este trabajo se presenta un sistema de adquisición de datos desarrollado para un invernadero clásico cenital que se basa en el microcontrolador ESP826612E y la computadora de bolsillo Raspberry Pi 3, los cuales son plataformas de hardware libre. Los parámetros obtenidos son la temperatura y la humedad. En el método se incluye la integración de los componentes al sistema de adquisición de datos, en particular el sensor de temperatura y humedad (DHT11), el servidor (Mosquitto y Node-RED), utilizando los protocolos de comunicación inalámbrica (WiFi y MQTT). Los resultados muestran la factibilidad para utilizar un conjunto de dispositivos inalámbricos para la integración de un sistema donde se requiere procesar información de manera remota, en este caso un invernadero.

Palabras Claves: Adquisición de datos, invernadero, mosquito, Node-RED, Raspberry Pi.

Abstract

A data acquisition system for a classical zenith greenhouse is developed in this paper. It is based on the ESP826612E microcontroller and the Raspberry Pi 3, which are open source hardware. The humidity and temperature are the parameters to acquire. The methodology includes the integration of some key components, such as the DHT11 sensor, the Mosquitto and Node-RED server, using the wireless communication protocols (WiFi and MQTT). The results show the possibility to use a set of wireless devices in order to process the information in a remote connection, in this case a greenhouse.

Keywords: *Data acquisition, greenhouse, mosquito, Node-RED, Raspberry Pi.*

1. Introducción

El efecto del cambio climático ha tenido un impacto en las actividades de campo abierto y en su práctica alrededor del mundo [Kang et al, 2009], [Ramirez, 2013]. Es por ello que el uso de invernaderos se ha incrementado en los últimos años con el propósito de poder producir cultivo todo el año [Moulton, 2016]; sin embargo, para que un agricultor tenga acceso a la tecnología que le permite obtener este tipo de beneficio, requiere de una fuerte inversión económica. En [De Anda, 2017] se estima que el costo promedio para la tecnificación básica de un invernadero en México es de \$5 dólares por metro cuadrado; la cual consiste en mallas para sombra, cubiertas de plástico, estructuras metálicas y algunos otros elementos estructurales, mientras que uno completamente automatizado es de un costo promedio de \$115 dólares por metro cuadrado.

A pesar del costo, existen diversos trabajos de investigación que se dedican a realizar la automatización o sensado de los parámetros considerados como fundamentales para el crecimiento ideal de una planta, tales como la temperatura [Márquez et al, 2016], humedad relativa [Outanoute, 2016], humedad del suelo [Sharma et al, 2017], ventilación [Makhlouf et al, 2016], iluminación [Chang et al,

2016], radiación solar [Cossu et al, 2014], dióxido de carbono [Xu et al, 2017], oxígeno, entre otros [Leal Iga et al, 2006]. Las interfaces de dichos sistemas de supervisión remota en invernaderos, según la literatura, han sido desarrolladas utilizando diferentes tecnologías, las cuales normalmente son costosas y/o complicadas de implementar al requerir módulos de conversión y acoplamiento de señales [Pawlowski et al, 2016]. Entre los dispositivos de automatización más populares se encuentran los de la compañía National Instruments™ en conjunto con el software LabVIEW [Guofang et al, 2010], [Fang, 2011], [Juárez et al, 2016], sin embargo, el costo de esta tecnología es alto y puede reducirse con el uso de plataformas de arquitectura abierta. Actualmente, el uso de licencias libres ha ganado popularidad y aunado a ello, el hardware libre se le ha sumado permitiendo la realización de desarrollos accesibles y económicos que podemos encontrar aplicados en el sensado, supervisión, análisis y control de diferentes sistemas [Khot, 2016], [Ferrarezi et al, 2015].

Las condiciones de humedad, temperatura y radiación dentro de un invernadero dificultan la adquisición y la transmisión de datos empleando protocolos de comunicación cableada, como son el CAN-bus y el RS485, es por ello que su uso en este tipo de sistemas ha disminuido en los últimos años [Du et al, 2013]. Lo anterior ha permitido la proliferación del uso de tecnologías inalámbricas para el envío de información, dominando el uso de protocolos de área personal (WPA, por sus siglas en inglés), como son ZigBee y sobre todo Wi-Fi [Juárez et al, 2016], [Mad et al, 2014], [Xiaoyan et al, 2013], [Fezari et al, 2011].

La contribución principal de este trabajo es la integración de diversas tecnologías para el desarrollo de un sistema de adquisición de datos que utiliza dispositivos de tecnología libre. A lo largo del artículo se explicará cómo fue posible implementar el protocolo de comunicación WiFi en conjunto con el protocolo MQTT en este sistema utilizando sensores digitales para la lectura de las variables de temperatura en un invernadero clásico cenital. Cabe aclarar que en el presente artículo se muestran los resultados únicamente para un sensor, pero se muestra que la extensión a una red es sencilla gracias a la combinación en el servidor del uso de Mosquitto y Node-RED.

2. Métodos

En la figura 1 se puede ver la conexión de todos los elementos que intervienen en el proceso de adquisición de temperatura y humedad dentro de un invernadero de 6mx18m, el cual está ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica de Aguascalientes. A continuación, se describe cada una de las partes que conforma al sistema para después explicar el proceso de adquisición de datos de forma inalámbrica.

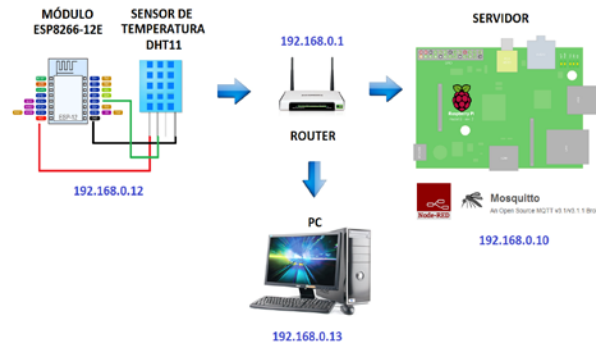


Figura 1 Sistema de adquisición de datos.

El sensor utilizado es el DHT11, el cual cuenta con las características necesarias para hacer la prueba de lectura de temperatura y humedad del invernadero pues tiene una etapa de instrumentación analógica-digital interna; asegurando la calibración del sensor, para después hacer uso del sistema de comunicación integrado por comunicación serial. El sensor DHT11 está dotado por una serie de características expresadas en la tabla 1.

Tabla1 Tabla de parámetros del sensor DHT11 [AOSONG, 2017].

Parámetro	Valor
Alimentación	3.5 a 5.5 V
Precisión en Humedad Relativa	±5% RH
Precisión en Temperatura	±2% °C
Rango de Lectura de Temperatura	0 – 50°C
Rango de Lectura de Humedad	20 – 90% RH

El microcontrolador ESP826612E cuenta con una serie de características expuestas en la tabla 2; de entre las cuales destaca la capacidad de poder hacer lectura y escritura de datos por comunicación serial y Wi-Fi.

Tabla 2 Parámetros del microcontrolador ESP826612-E [Espressif Systems, 2017].

Parámetro	Valor
Protocolo de comunicación Wi-Fi	802.11 b/g/n
Antena	Salida de potencia +19.5 dBm en modo 802.11b
MCU	32-bit
Puertos de comunicación	SDIO 2.0, SPI, UART
Consumo	215 mA
Fuente de alimentación	5 V

La tarjeta Raspberry Pi es la parte donde se tiene una serie de servicios gestionados por un sistema operativo basado en Linux para arquitectura ARM llamado Raspbian. Cuenta con una serie de características que la hacen ideal para la aplicación que se plantea en este trabajo, a continuación en la tabla 3 se exponen los datos [Vishnukumar et al, 2016], [Raspberry-Pi-Foundation, 2016].

El elemento principal de comunicación para la red de sensores es el protocolo MQTT, por sus siglas en inglés (MQ Telemetry Transport) el cual está diseñado para el uso de adquisición de datos sobre dispositivos de forma remota como sensores, teléfonos, computadoras, etc. [DC-Square, 2016]. El funcionamiento del protocolo está basado en 2 elementos el broker y el usuario. El broker es el servidor que administra todas las comunicaciones y los usuarios envían y reciben información directamente de este. Esto se hace mediante la suscripción a un tema, estar suscrito te permite enviar y recibir información sobre todo lo que se publique en ese tema. Es así como varios sensores se pueden conectar a un tema y un usuario puede ver todas las publicaciones en un solo lugar.

Tabla 3 Parámetros de Raspberry Pi 1 B [Raspberry-Pi-Foundation, 2016].

Parámetro	Valor
SoC	Broadcom BCM2835 (CPU + GPU + DSP + SDRAM + USB)
CPU	ARM 1176JZFS a 700 MHz
RAM	512 MB
Almacenamiento	SD
USB	2 x USB 2.0
Redes	Ethernet 10/100
Consumo	3.5 W
Fuente de alimentación	5 V micro USB

El servidor NodeRED, mostrado en la figura 2, es una plataforma gráfica de gestión de dispositivos e información en red, ya sea local o abierta. Esta

plataforma es muy versátil y permite hacer modificaciones a la red de forma gráfica y compacta. A los bloques que modifican el funcionamiento del proceso dentro de la plataforma se le conocen como nodos. Los nodos pueden ser de entradas, salidas, procesamiento, análisis, etc. Estos nodos se pueden conseguir prefabricados y modificarlos o también se pueden desarrollar desde cero para aplicaciones específicas que desee el usuario [Blackstock, 2014].

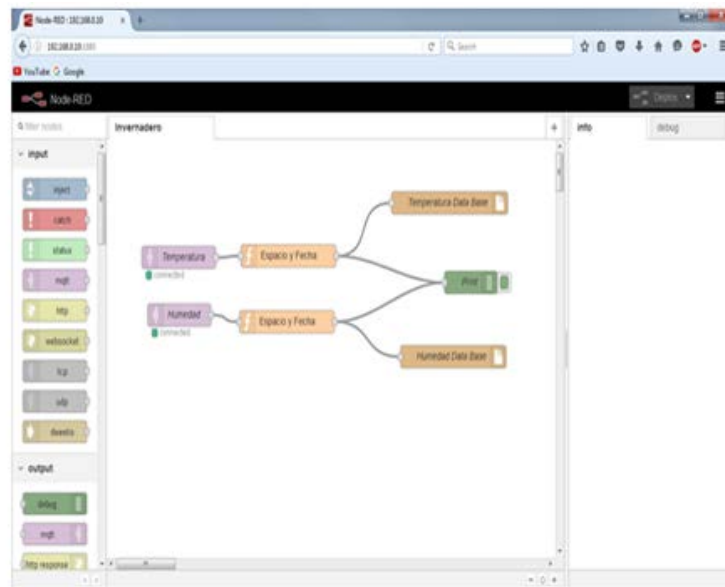


Figura 2 Enlace de datos en Node-RED.

El proceso de adquisición de datos está dividido esencialmente en tres partes: El momento en el que el ESP826612-E hace la adquisición del dato, la cual es cada 5 minutos, por recomendación del fabricante del sensor DHT11 [AOSONG, 2017]. El segundo proceso es cuando se establece una conexión entre el módulo y el servidor para después mandar la información, la cual se almacena en este último. El tercer proceso es cuando el usuario accede a la información para poder hacer análisis. En este momento se cuenta con un esquema general del sistema completo, a continuación se detalla cada parte:

- Proceso 1: El microcontrolador mediante una referencia de un reloj en tiempo real (RTC, por sus siglas en inglés) solicita una muestra al sensor DHT11 por medio de comunicación serial. La información se concatena; hora de muestreo, temperatura y humedad, y se envía por red inalámbrica.

Para poder mandar la información por Wi-Fi es importante primero pertenecer a una red con una dirección, en este caso el módulo hace una petición de conexión a un router y el DHCP (Protocolo de Configuración de Host Dinámico) y se le concede una dirección IP (Protocolo de Internet). La velocidad por el medio inalámbrico está sujeta a la tecnología que acepta el router y el microcontrolador; en este caso está ligado a la norma IEEE 802.11b que transmite hasta 11 Mbit/s usando la banda de 2.4 GHz. Después de estar dentro de la red se hace una configuración para el envío y recepción de información por MQTT, suscribiéndonos a un tema y publicando la cadena de datos que se creó anteriormente.

- Proceso 2: La información llega del microcontrolador a la Raspberry; esta cuenta con una conexión al router de la misma forma que el ESP, por TCP/IP. La velocidad de transferencia de datos de la Raspberry es por medio cableado y la velocidad es de hasta 100 Mbps. La Raspberry es un servidor multiservicio que gestiona el broker MQTT con la plataforma libre Mosquitto, el servidor de gestión gráfica NodeRED y la base de datos. La información llega al tema del broker seleccionado y se almacena en un documento de texto plano en un espacio de memoria de 2 Gb.
- Proceso 3: La última etapa es en la que se solicita la información para que el usuario pueda hacer la representación gráfica de los resultados. La información se solicita por FTP (Protocolo de Transferencia de Archivos) desde cualquier cliente FTP hacia la Raspberry y se descarga el archivo. Después de descargar el archivo con las lecturas se optó por graficar los datos en MS Access. Una vez que se tenían las gráficas se obtuvo una curva de tendencia, para ver si era posible tener una ecuación que se acercara al comportamiento de la temperatura y la humedad.

3. Resultados

El resultado del proceso de adquisición fue un archivo de texto con los parámetros de temperatura y humedad separados por comas, el cual se importó, por medio de FTP, en la computadora del usuario final, para después cargar la

información en la herramienta Access para visualizar los datos. En la figura 3 se puede ver la temperatura y humedad del día 20 de marzo del 2016 junto con sus líneas de tendencia.

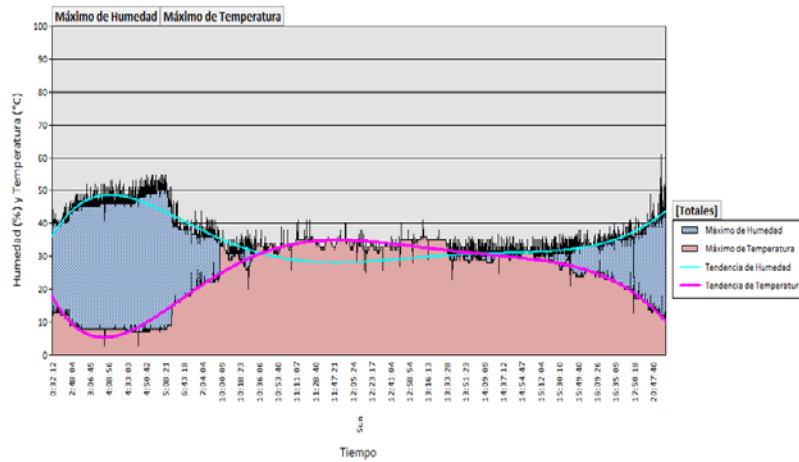


Figura 3 Gráfica del 20 de marzo de 2016 con líneas de tendencia.

El proceso de adquisición de datos de forma remota utiliza los elementos descritos en el método y nos otorga los valores que se esperaban en comparación con la estación Granja Elsa, Aguascalientes, ver figura 4.

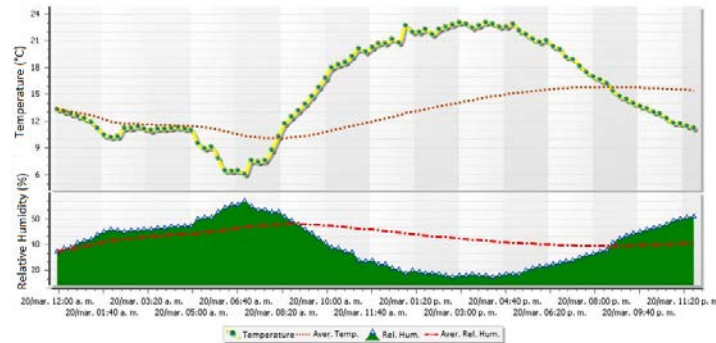


Figura 4 Datos climáticos 20/marzo/2016, estación meteorológica Granja Elsa, Ags.

4. Discusión

El propósito de combinar diferentes herramientas es el de simplificar la expansión y mantenimiento de la red. El protocolo MQTT será pieza clave en la expansión del sistema ya que una vez que se establecen los paramentos de comunicación entre dos dispositivos; refiriéndonos a dispositivos como sensores,

actuadores, computadoras y más, solamente hay que unirse en forma de suscripción a la red de transferencia de datos y con esto poder mandar y recibir información.

El servidor Node-RED es una herramienta gráfica que nos va a permitir dar de alta nuevas conexiones y funciones, agregando bloques. Los bloques aportan nuevas funciones para conectar más dispositivos, con configuraciones menores que incrementan las capacidades del sistema. La Raspberry está basada en Linux, un sistema operativo libre, que nos permite hacer numerosas pruebas con diferentes herramientas de red sin la necesidad de pagar derechos por el uso del software. En un futuro, si se decide desarrollar el sistema con exigencias que el sistema no soporte, será muy fácil migrar a un equipo con mayor capacidad haciendo uso de Linux como sistema y migrando los servicios instalados en la Raspberry. Se sabe que existen servidores como Bluemix que cubren todo el marco que se pretende en este proyecto y se ve como una alternativa para la expansión del sistema.

5. Conclusiones

La implementación del sistema de adquisición de datos ha sido satisfactoria, dado que se logró utilizar un sensor dentro de un invernadero y almacenar los datos de temperatura y humedad obtenidos en un servidor dentro de una red local, por medio de redes inalámbricas, utilizando hardware y software libre, acompañado de protocolos y sistemas de implementación amigables con el administrador y el usuario.

El análisis de los resultados nos permite ver que se pueden hacer algunos cambios para mejorar el sistema en cuanto a las capacidades del sensor y la herramienta de representación gráfica y las capacidades de almacenamiento.

En trabajos futuros se planea incluir más sensores; un administrador de bases de datos, como MySQL con una capacidad de almacenamiento superior a los 2Gb que se establecieron, un servidor de representación gráfica que nos permita hacer consultas de diferentes periodos de tiempo, además de graficar el estado en el momento de supervisión, en la Raspberry, como sustituto de MS Access y llevar la plataforma de comunicación de una red local, a una red a través de internet.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] AOSONG. Especificaciones del módulo DHT11: <https://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/DHT11.pdf>, 2017.
- [2] Blackstock M. & Lea R. Toward a Distributed Data Flow Platform for the Web of Things. Proceedings of the 5th International Workshop on Web of Things, October 2014.
- [3] Chang, C.L., Chang, K.P., & Song, G.B. Design and Implementation of a Cloud-Based LED Lighting Control System for Protected Horticulture. *Applied Engineering in Agriculture*, 32(6), pp. 697-706, 2016.
- [4] Cossu, M., Murgia, L., Ledda, L., Deligios, P.A., Sirigu, A., Chessa, F., & Pazzona, A. Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity. *Applied Energy*, 133, pp. 89–100, 2014.
- [5] DC-Square, HiveMQ, 2016: <http://www.hivemq.com/> el 2 de abril de 2016.
- [6] Du Y., Xue Z., Zhu Q., Liu X., Feng Y., and Zhang S. Design and Application of Intelligent Control System for Greenhouse Environment Based on CAN bus. Proceedings of International Conference on Modeling, Identification & Control, 2013.
- [7] Fang, J., & Wang, F. Design of greenhouse remote monitoring system based on LabVIEW. *Computer Science and Automation Engineering*, pp. 536-539, 2011.
- [8] Ferrarezi, R.S., Dove, S.K., & Van Lersel, M.W. An automated system for monitoring soil moisture and controlling irrigation using low-cost open-source microcontrollers. *HortTechnology*, 25(1), pp. 110-118, 2015.
- [9] De Anda, J. & Shear, H. Potential of Vertical Hydroponic Agriculture in Mexico. *Sustainability*, 9(1), pp. 140, 2017.
- [10] Espressif Systems, Especificaciones ESP-12E, 2017: <http://d1jy6p8pks3hof.cloudfront.net/datasheets/ESP12Espec.pdf>, 2017.
- [11] Fezari M., Khati A. and Boumaza M.S. Implementation of Wireles Sensor Network for Automatic Greenhouse Monitorign. *Communications, Computing and Control Applications*, 2011.

- [12] Guofang, L., Lidong, C., Yubin, Q., Shengtao, L., & Junyu, X. Remote Monitoring System of Greenhouse Environment Based on LabVIEW. *International Conference on Computer Design and Applications*, Vol. 2, 2010.
- [13] Juárez-Gutiérrez, S.S., Gárate-García, A., Ramírez del-Real, T. A., & Álvarez-Sánchez, E.J. Temperature Modeling of a Greenhouse Environment, *Handbook of Research on Military, Aeronautical, and Maritime Logistics and Operations*, IGI Global, pp. 257, 2016.
- [14] Márquez-Vera, M.A., Ramos-Fernández, J.C., Cerecero-Natale, L.F., Lafont, F., Balmat, J.F. & Esparza-Villanueva, J.I. Temperature control in a MISO greenhouse by inverting its fuzzy model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, pp. 168–174, 2016.
- [15] Khot, S.B., & Gaikwad, M.S. Development of cloud-based Light intensity monitoring system for greenhouse using Raspberry Pi. *International Conference on Computing Communication Control and automation*, pp. 1-4, 2016.
- [16] Makhlouf, S., Laghrouche, M. & Adane, A.E.H. Hot Wire Sensor-Based Data Acquisition System for Controlling the Laminar Boundary Layer Near Plant Leaves Within a Greenhouse. *IEEE Sensors Journal*, 16(8), pp. 2650-2657, 2016.
- [17] Mad S. S., Munirah L., Kamarudin K., Mohd W., Syed M. M., Muhammad S., Zakaria A. and Nor M. Real-Time Greenhouse Monitoring System for Mango with Wireless Sensor Network. *International Conference on Electronic Design*, 2014.
- [18] Ramirez-Villegas, J., Jarvis, A. & Läderach, P. Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case study with grain sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, pp. 67-78, 2013.
- [19] Outanoute, M., Lachhab, A., Ed-dahhak, A., Guerbaoui, M., Selmani, A. & Bouchikhi, B. Synthesis of an Optimal Dynamic Regulator Based on Linear Quadratic Gaussian (LQG) for the Control of the Relative Humidity Under

- Experimental Greenhouse. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(5), pp. 2262-2273, 2016.
- [20] Kang, Y., Khan, S. & Ma, X. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. *Progress in Natural Science*, 19 (12), pp. 1665-1674, 2009.
- [21] Leal Iga, J., Alcorta García, E., & Rodríguez Fuentes, H. Modelado del clima en invernaderos: respuesta de la temperatura a cambios de humedad. *Ingenierías*, 9(33), pp. 7-13, 2006.
- [22] Moulton, A.A. & Popke, J. Greenhouse governmentality: Protected agriculture and the changing biopolitical management of agrarian life in Jamaica. *Environment and Planning D: Society and Space*, pp. 1-19, 2016.
- [23] Pawlowski, A., Beschi, M., Guzmán, J.L., Visioli, A., Berenguel, M. & Dormido, S. Application of SSOD-PI and PI-SSOD event-based controllers to greenhouse climatic control. *ISA Transactions*, 65, pp. 525-536, 2016.
- [24] Raspberry-Pi-Foundation. (s.f.). Raspberry Pi. Recuperado de <https://www.raspberrypi.org/> el 2 de abril de 2016.
- [25] Sharma, H., Shukla, M.J., Bosland, P.W. & Steiner, R. Soil moisture sensor calibration, actual evapotranspiration, and crop coefficients for drip irrigated greenhouse chile peppers. *Agricultural Water Management*, Vol. pp. 179, 81–91, 2017.
- [26] Vishnukumar, V., Kumar, S., and Madhusoodanan, K. N. Wireless sensor networks for internet of things based laboratory automation system. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5 (22), 2016.
- [27] Xu, Y.H., Wu, W.L., Xu, Y., Tham, M.L. & Ramli, N. A framework of fuzzy control-based intelligent control system for greenhouse. *Artificial Intelligence Research*, 6(1), pp. 1-5, 2017.
- [28] Xiaoyan Z., Xiaoyan Z., Chen D., Zhaohui C., Shangming S., and Zhaohui Z. The Design and Implementation of the Greenhouse Monitoring System Based on GSM and RF Technologies, *Computational Problem-solving (ICCP)*, 2013.