

Diseño de sistema embebido para monitoreo IoT del microclima interno de un invernadero con transceptores LoRa y modem GSM.

Ricardo-Zamudio Carbajal^a, José Antonio-Martínez Rivera^b,
Francisco Javier-Godínez García^c, Eduardo-Gamero Inda^d,
Rubén-Guerrero Rivera^e

^aTecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango 34080, maestría en ingeniería, 15041112@itdurango.edu.mx, Durango, Dgo., México.

^bTecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango 34080, maestría en ingeniería, jamartinez@itdurango.edu.mx, Durango, Dgo., México.

^cTecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango 34080, maestría en ingeniería, fgodinez@itdurango.edu.mx, Durango, Dgo., México.

^dTecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango 34080, maestría en ingeniería, egamero@itdurango.edu.mx, Durango, Dgo., México.

^eTecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango 34080, maestría en ingeniería, rubenguerrero@itdurango.edu.mx, Durango, Dgo., México.

Resumen

Se presenta la implementación de un sistema de monitoreo bajo el concepto de “Internet de las Cosas” basado en el esquema de nodo sensor y puerta de enlace para variables climáticas internas de un invernadero pasivo. El nodo sensor consiste en un sistema embebido para el monitoreo y transmisión de datos en tiempo real de temperatura, humedad relativa y luminosidad, mediante instrumentación acoplada al dispositivo y un transceptor LoRa, este dispositivo es alimentado por un sistema fotovoltaico con acumulador y regulador de carga. Los datos enviados por el nodo sensor son recibidos a través de un transceptor LoRa conectado a un segundo sistema embebido denominado puerta de enlace, encargado de la validación de los datos recibidos, además de su envío mediante un modem GSM conectado a la red celular local. Los datos validados son enviados mediante peticiones HTTP de tipo POST coordinadas en el modem GSM a una plataforma como servicio de cómputo en la nube para la persistencia, despliegue y análisis de los datos a través de una interfaz de usuario accesible en la WEB.

El sistema fue validado dentro de un invernadero perteneciente a un complejo de producción en agricultura protegida certificado, en el municipio de Nombre de Dios, Durango, México.

Palabras clave— Agricultura de precisión, invernadero, IoT, modem GSM, transceptor LoRa

Abstract

The implementation and design of a monitoring system under the Internet of things concept and based on the sensor node and gateway scheme for measurement of the internal climate variables inside a passive greenhouse is presented. The sensor node device consists in an embedded system for

the real time data monitoring and transmission of temperature, relative humidity, and luminosity via various sensing elements and a LoRa transceiver attached to the device, this device is powered by an accoupled photovoltaic system consistent of a battery and a charge regulator element. The sent data is received by a LoRa transceiver connected to a second embedded system called gateway which is responsible for the received data validation and its transmission via a GSM modem connected to the local cellular network. Validated data is sent by POST type HTTP requests coordinated in the GSM modem to be directed to a cloud computing platform as a service for the data persistence, deploy and analysis through a WEB accessible user interface dashboard.

The system was validated inside a greenhouse which belongs to a certified protected agriculture production complex, in the municipality of Nombre de Dios, in the state of Durango, México.

Keywords— Precision farming, Greenhouse, IoT, GSM modem, LoRa transceiver

1. INTRODUCCIÓN

En cultivos protegidos mediante invernadero es de vital importancia determinar el valor numérico de las variables internas de temperatura y humedad relativa. Un entorno no regulado en dichas variables será susceptible a la proliferación de hongos y plagas. En [1] el monitoreo en tiempo real de las condiciones meteorológicas de cultivos en invernaderos permite la toma de decisiones por parte del agricultor. Las nuevas tendencias tecnológicas como la computación en la nube y el IoT permiten la recopilación de información proporcionada por sensores de humedad relativa y temperatura con el fin de obtener una predicción del microclima de un invernadero. Según [2] el protocolo de comunicación LoRa (*Long Range*), se considera una opción adecuada para el desarrollo de soluciones en sistemas de comunicación por radiofrecuencia para el envío de mensajes cortos, la ventaja principal de estos dispositivos es su alta eficiencia y la optimización en el consumo de potencia. En [3] se muestra el desarrollo de un sistema embebido para el monitoreo de variables climatológicas, cuyo diseño incorpora módulos de transmisión con protocolo LoRa, habilitando la posibilidad de desarrollar soluciones con un consumo de corriente bajo, incluso en estados de transmisión y recepción de datos a través del módulo LoRa. Como se muestra en [4], el desarrollo de una solución a mediano plazo bajo el esquema de nodo sensor, puerta de enlace y servicio de computación en la nube se puede aplicar con hardware de bajo costo en invernaderos y cultivos para el monitoreo de variables climáticas en tiempo real, obteniendo autonomía energética mediante celdas fotovoltaicas. En [5] los módulos GSM habilitan la conexión a la red celular, son una alternativa para la creación de puertas de enlace en zonas con baja conectividad, la incorporación de un módulo GSM en el diseño de un sistema embebido dedicado a la recolección y

envió de datos meteorológicos facultada al dispositivo para la comunicación de los datos en tiempo real.

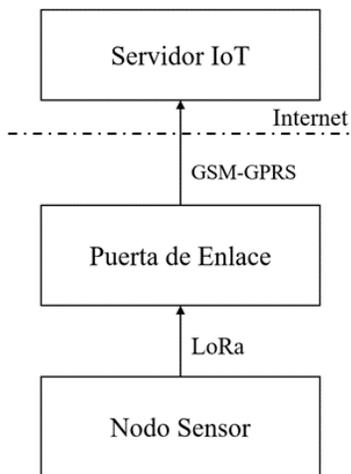
En este artículo se muestra la implementación y validación de dos sistemas embebidos con el esquema de nodo sensor y puerta de enlace, mediante el uso de transceptores LoRa, modem GSM y sistema de cómputo en la nube para el monitoreo en tiempo real de un cultivo de pepinillo tipo Pickle en un invernadero pasivo.

Diferenciándose de otras propuestas de monitoreo IoT en invernadero mediante puntos clave como son la implementación en un invernadero de producción real [6], el desarrollo de una tarjeta prototipo propia para el nodo sensor [7], la implementación del protocolo de largo alcance LoRa [8], el aprovechamiento del modem GSM para su conexión a internet [9] y el despliegue de una solución robusta en una plataforma de cómputo en la nube [10].

2. CONTENIDO

El monitoreo en tiempo real consta de un esquema de nodo sensor y puerta de enlace (Fig. 1). Las funciones del nodo sensor están dirigidas a la recopilación de datos por sensores, su validación y posterior transmisión mediante radiofrecuencia en protocolo LoRa. La puerta de enlace tiene como tarea recibir las cadenas de datos del nodo sensor, validar el buen estado de su información y enviarla mediante un dispositivo con acceso a la red global o Internet a un servidor en la nube para su posterior despliegue, almacenamiento y análisis. Este modelo de solución hace referencia al concepto tecnológico de IoT aplicado a la agricultura.

Fig. 1. Esquema general del sistema IoT.



Fuente: Elaboración propia.

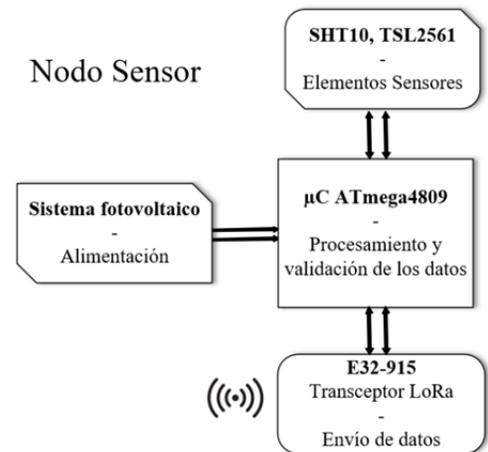
2.1 Nodo sensor

El sistema embebido del nodo sensor (Fig. 2) es alimentado por un sistema fotovoltaico de acumulador y regulador de

carga, asegurando la operatividad del nodo sensor las 24 horas del día para un monitoreo continuo. Cuenta con el sensor SHT10 para medir la temperatura en aire T (°C) y la humedad relativa HR (%), complementado con un encapsulado robusto, adecuado para las condiciones internas del invernadero e incluye transmisión de datos de manera digital. El siguiente elemento en la instrumentación es el sensor TSL2561 de luminosidad (Lux), variable que es de utilidad para tener una referencia sobre la incidencia lumínica en el área del invernadero.

Como unidad central de procesamiento se utiliza el microcontrolador de 8 bits y de núcleo AVR el ATmega4809, destinado a realizar las consultas de los datos tomados por los sensores mediante un bus digital, validar los datos consultados y finalmente proceder a llamar al módulo transceptor E32-915 coordinado mediante un bus UART para el envío de los datos. El módulo transceptor implementa el protocolo LoRa de largo alcance para la transmisión de los datos, este modelo en particular utiliza el circuito integrado SX1276 de Semtech. El módulo está diseñado para transmitir los datos en radiofrecuencias de 868 MHz - 915 MHz.

Fig. 2. Esquema nodo sensor.

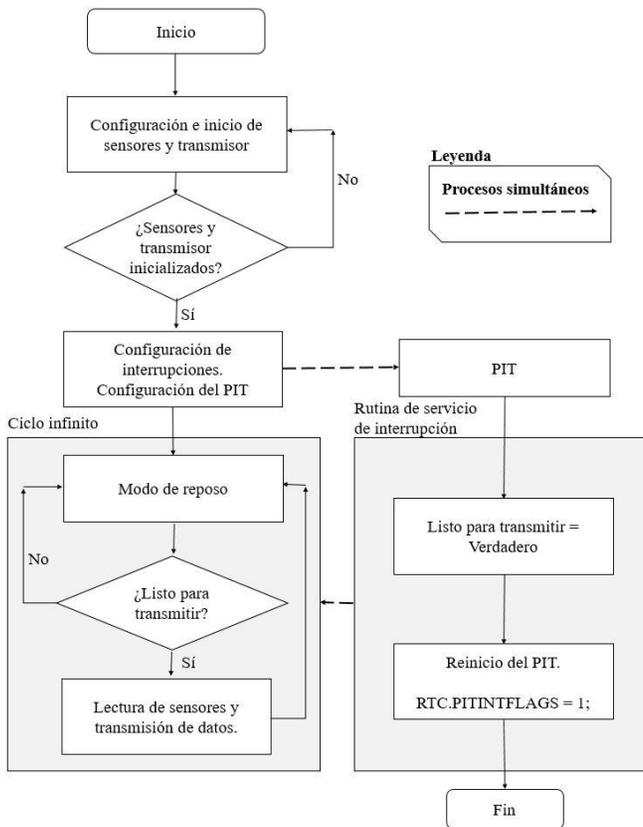


Fuente: Elaboración propia.

Minimizar el consumo de potencia en dispositivos IoT es esencial, por esto el sistema tiene como una de sus prioridades el bajo consumo de energía obteniendo el mejor rendimiento del sistema fotovoltaico, incluso en días sin mucha presencia de luz solar. Debido a lo anterior se implementa un RTC con cristal interno de 32.768 KHz incorporado por el fabricante en el microcontrolador, configurado en sus registros para funcionar como PIT (*Periodic interrupt timer*). El sistema es llevado inmediatamente al estado de reposo, para ser despertado únicamente por la rutina de servicio de interrupción detonada por el PIT. En dicha rutina se llaman las funciones con sentencias y condiciones necesarias para leer los datos de los sensores a través de los buses digitales, llamar al

módulo transceptor para el envío de los datos y finalmente regresar todos los componentes al estado de reposo. El tiempo configurado para detonar la rutina de toma de muestras y envío de datos mediante transceptor LoRa es de 60 segundos. El diagrama de flujo (Fig. 3) muestra una versión simplificada del proceso ejecutado por el nodo sensor.

Fig. 3. Diagrama de flujo del nodo sensor.



Fuente: Elaboración propia.

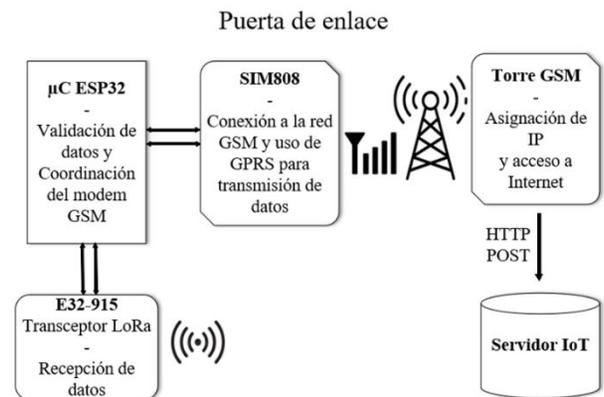
2.2 Puerta de enlace

El segundo sistema embebido (Fig. 4) está centrado en el módulo ESP-32-WROOM-32E, dispositivo que funciona como unidad de procesamiento. Conectado a un primer bus digital del módulo ESP-32 se encuentra un transceptor LoRa con una configuración de canal de transmisión y modulación iguales a los del transceptor del nodo sensor, así la información transmitida por el nodo sensor será captada por el módulo transceptor en la puerta de enlace.

El módulo transceptor funciona de manera asíncrona por lo que puede recibir la información y almacenarla en un buffer interno en cuanto esta sea detectada, cuando el microcontrolador llame al módulo transceptor este indicará la presencia de datos en espera y procederá a enviarlos por

medio del bus UART. Enseguida el microcontrolador procederá a verificar la integridad de la información. Un segundo elemento coordinado por el microcontrolador mediante bus digital UART es la tarjeta de desarrollo con módulo GSM SIM808, cuya función es la de un modem para brindar de conectividad a Internet al dispositivo mediante una torre celular de un proveedor de telefonía. Si los datos recibidos por el transceptor son correctos, el microcontrolador procede a ejecutar la rutina de coordinación del módulo SIM808, dicha rutina consiste en enviar una serie de comandos AT mediante UART para indicar al módulo que debe conectarse a la red celular y solicitar la asignación de una dirección IP para posteriormente hacer una petición HTTP de tipo POST para el envío de los datos a un servidor.

Fig. 4. Esquema puerta de enlace.



Fuente: Elaboración propia.

2.3 Servidor IoT

Para abordar una solución completa de monitoreo en tiempo real, almacenamiento y análisis de los datos, se opta por la alternativa del *cloud computing* o cómputo en la nube, concepto que permite hacer uso de infraestructura informática robusta a través de Internet, en poco tiempo y sin necesidad de grandes recursos económicos. Se selecciona como proveedor de poder de cómputo en la nube a Azure de Microsoft, específicamente en su plataforma como servicio de Azure IoT Central, dedicado en acelerar el desarrollo de aplicaciones IoT, proporcionando una solución completa para monitoreo en tiempo real.

Se configura el servicio para recibir peticiones POST por medio de un enlace generado por la plataforma, específicamente para el dispositivo mediante la creación de una cadena de conexión única. Posteriormente se crea una plantilla de dispositivo en donde se le indica a la plataforma que datos se espera recibir y en que formato se encuentran. La plataforma está configurada para almacenar cada dato recibido, la persistencia de los datos en la plataforma

permite el futuro análisis de la dinámica térmica del invernadero.

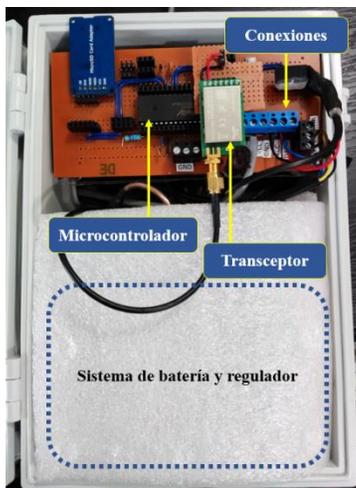
Finalmente se configura la interfaz de despliegue de los datos recibidos, haciendo uso de las herramientas preconfiguradas del servicio para crear una interfaz amigable con el usuario que exhiba las gráficas del comportamiento de las variables de temperatura, humedad relativa y luminosidad internas del invernadero.

2.4 Implementación física del sistema

La implementación física del nodo sensor (Fig. 5) consta de una tarjeta fenólica perforada con todos los componentes electrónicos necesarios para su funcionamiento, además del módulo transceptor mencionado anteriormente.

El dispositivo es resguardado en una carcasa plástica con grado de protección IP66 de tal manera que se asegure su operatividad al mediano plazo en las condiciones adversas del invernadero. Dentro de la carcasa se encuentra anexa una batería de gel y un dispositivo comercial de regulación de carga mediante panel solar. La carcasa cuenta con una glándula para el acceso externo de las conexiones de los sensores, la antena del módulo transceptor y el sistema fotovoltaico.

Fig. 5. Implementación nodo sensor



(a)

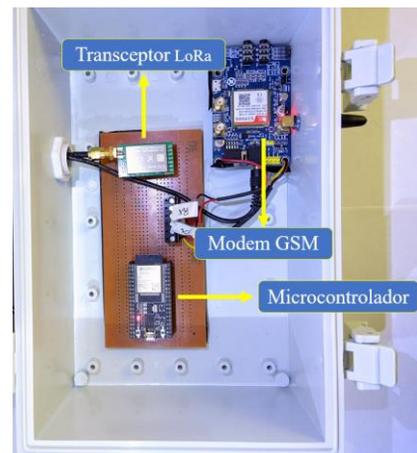


(b)

Fuente: Elaboración propia.

La puerta de enlace se implementa en una tablilla fenólica perforada con el módulo de microcontrolador y módulo transceptor montados (Fig. 6), incluye una línea de bornes para la segura conexión del modem GSM. Todo el dispositivo es resguardado en un contenedor de rígido de plástico con incorporación de una glándula para el acceso exterior de la antena del transceptor y la alimentación.

Fig. 6. Implementación puerta de enlace.



Fuente: Elaboración propia.

La antena del modem GSM es expuesta al exterior mediante una perforación lateral del diámetro de la antena y es sellada respecto a la carcasa con silicón caliente.

2.5 Resultados

El dispositivo de nodo sensor es instalado dentro del centro geométrico del invernadero (Fig. 7), el panel solar es sostenido por un trípode de aluminio, el sensor de temperatura y humedad relativa es acoplado con su carcasa para evitar la saturación por radiación solar.

Fig. 7. Nodo sensor dentro del invernadero.



Fuente: Elaboración propia.

El sensor de luminosidad es expuesto aproximadamente a 50 cm del trípode (Fig. 8) y es resguardado en una carcasa translúcida con protección IP66.

Fig. 8. Sensor de luminosidad.



Fuente: Elaboración propia.

La puerta de enlace es resguardada en una oficina dentro de las instalaciones de la empresa agrícola, cuenta con suministro eléctrico y se encuentra ubicada a 50 metros del invernadero (Fig. 9).

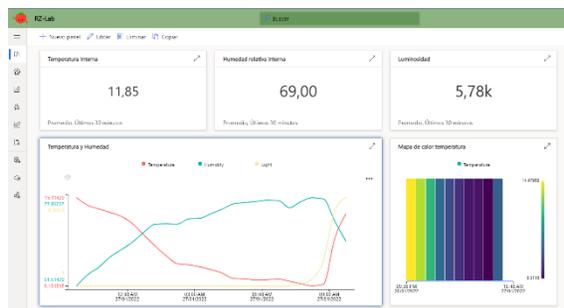
Fig. 9. Puerta de enlace instalada.



Fuente: Elaboración propia.

El sistema IoT es accedido mediante una URL generada por la plataforma de Microsoft Azure IoT Central, la plataforma está configurada para el despliegue de los valores promedio en los últimos 30 minutos para cada variable medida. Las gráficas de seguimiento de las últimas 12 horas y un mapa de calor para el monitoreo de la temperatura se muestran en (Fig. 10).

Fig. 10. Despliegue de interfaz gráfica



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la plataforma se crean consultas por rango de fechas (Fig. 11) para analizar los datos obtenidos en las tres variables monitoreadas.

Fig. 11. Despliegue de consulta de datos

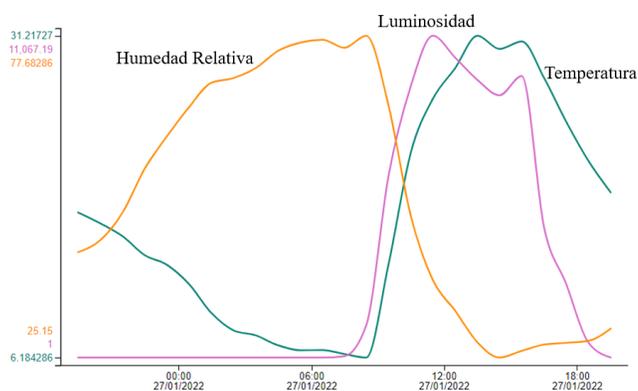


Fuente: Elaboración propia.

Es posible la extracción de los datos consultados para su análisis fuera de línea, descargando desde la plataforma un archivo en extensión .csv con los datos de las variables y periodos seleccionados a manera de tabla. Los datos extraídos pueden ser procesados y desplegados por otras herramientas para un análisis posterior más profundo.

Como muestra de la capacidad de análisis se presentan en un gráfico combinado (Fig. 12) y puestos a escala equivalente los valores internos de temperatura, humedad relativa y luminosidad del invernadero, medidos en un periodo de 24 horas, se observan valores máximos de 31 °C en temperatura, 77% de humedad relativa y 11,000 lux de luminosidad, mientras que los mínimos son de 6 °C para temperatura, 25% para humedad relativa y 1 lux de luminosidad.

Fig. 12. Gráfica de temperatura, humedad relativa y luminosidad



Fuente: Elaboración propia.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de nodo sensor y puerta de enlace cumple de manera eficiente con su función, el agricultor tiene acceso a

una herramienta de monitoreo de las condiciones climáticas internas del invernadero las 24 horas del día, esto permite una constante supervisión por parte del personal experto para una posible mejora en la toma de decisiones en el tiempo de apertura de la ventilación cenital y de cortinas laterales del invernadero, evitando potencialmente la saturación de temperatura y humedad relativa, según sean las necesidades del cultivo y la presencia de plagas. El dispositivo tiene muchos campos de mejora para su eficiencia y reducción de tamaño, mismos que serán explorados en futuras versiones del prototipo.

4. REFERENCIAS

- [1] Z. Z. Oo and S. Phyu, "Microclimate Prediction Using Cloud Centric Model Based on IoT Technology for Sustainable Agriculture" 2019 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS), pp. 660-663, 2019.
- [2] Augustin, Aloÿs, Jiazi Yi, Thomas Clausen, and William M. Townsley. "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things" Sensors 16(9), pp. 1466-1484, 2016.
- [3] Padma B., Massimo Vecchio, Fabio Antonelli, Andrea Maestrini, and Davide Brunelli. "Design and Implementation of an Energy-Efficient Weather Station for Wind Data Collection" Sensors 21(11), pp. 3831-3849, 2021.
- [4] Codeluppi, Gaia, Antonio Cilfone, Luca Davoli, and Gianluigi Ferrari."LoRaFarM: A LoRaWAN-Based Smart Farming Modular IoT Architecture" Sensors 20(7), pp. 2028-2052, 2020.
- [5] Parvez, Shahadat & Saha, J. & Hossain, M. & Hussain, Humaira & Ghuri, Md & Chowdhury, Tahbit & Rahman, Mahbubar & Shuchi, N. & Islam, A. & Hasan, Mehedhi & Paul, Biswajit. "A Novel Design and Implementation of Electronic Weather Station and Weather Data Transmission System Using GSM Network". WSEAS Transactions on Circuits and Systems. 15(21), pp. 21-34, 2016.
- [6] R. K. Kodali, V. Jain, and S. Karagwal. "IoT based smart greenhouse" 2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), pp. 1-6, 2016.
- [7] Mustafa Alper Akkaş, Radosveta Sokullu. "An IoT-based greenhouse monitoring system with Micaz motes" Procedia Computer Science, pp. 603-608, 2017.
- [8] Guohong Li, Wenjing Zhang, Yi Zhang. "A Design of the IOT Gateway for Agricultural Greenhouse" Sensors & Transducers, pp. 75-80, 2014.
- [9] P. V. Vimal, K. S. Shivaprakasha. "IOT Based Greenhouse Environment Monitoring and Controlling System using Arduino Platform" 2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT), pp. 1514-1519, 2017.
- [10] M. Danita, Blessy Mathew, Nithila Shereen, Namrata Sharon, J. John Paul "IoT based Automated Greenhouse Monitoring System" 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), pp. 1933-1937, 2018.