

Alexa application for lighting and temperature management through fuzzy controllers that can be used in a home automation environment

Jorge Esteban Farfán Quevedo, David Tinoco Varela, Raúl Dalí Cruz Morales

* Universidad Nacional Autónoma de México, FES-C, Ingeniería Mecánica Eléctrica
Cuautilán Izcalli, Estado de México, México (e-mail: esteban.farfán.quevedo@gmail.com,
dativa19@hotmail.com, rdcruz@comunidad.unam.mx)

Abstract: Today, the design and development of smart homes and the way in which the user interacts with them is becoming more and more common. There are different ways in which a user can interact with these technological elements, such as wireless communications, control from a mobile device and through voice, the latter of great relevance for this paper.

The design of such buildings seeks the comfort of the individual or individuals who inhabit it, modifying the internal conditions of the property, such as interior and exterior lighting, humidity, etc. This environment control occurs due to the reading of values recorded by sensors, and the output reaction of the actuators.

This paper presents the proposal for a control system of light and temperature conditions within a building through Alexa™. The conditioning of such physical magnitudes is carried out by means of fuzzy controllers. The presented scheme could be easily used in an automation system.

Keywords: Alexa, Fuzzy logic, automation system, IoT, Embedded Systems.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Domínguez y Vacas (2006), la domótica consiste en introducir infotecnología en los hogares con el fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes y ampliar sus posibilidades de comunicación. Esto se consigue automatizando los procesos domésticos e intercomunicándolos con los residentes del hogar y con el exterior.

Uno de los grandes objetivos de los edificios domóticos es garantizar el confort de los habitantes al poder gestionar la iluminación, la temperatura, la humedad e incluso la ventilación de los interiores.

Para el funcionamiento y diseño de los edificios domóticos es necesaria la conexión entre sensores y actuadores, así como de una estructura algorítmica que se encargue de gestionar estas interacciones. Actualmente, estos algoritmos pertenecen principalmente al área de la inteligencia artificial (IA). Existen diversos esquemas de IA como las redes neuronales (Guez et. al., 1998), los algoritmos genéticos (Kramer, 2017), la lógica difusa (Zadeh, 1988), entre otros. Cabe mencionar que la lógica difusa es de gran relevancia para el desarrollo de este proyecto.

Como ya se mencionó, no es de extrañar que el diseño y construcción de ciudades inteligentes (Telefónica, 2011), así como de edificios y casas inteligentes, sea un reto para los ingenieros en los próximos años y una necesidad para la

población en general. Debido a esto, es de gran relevancia generar propuestas y esquemas de funcionalidad para estos entornos.

En este artículo se presenta el prototipo de un sistema domótico de control por voz que puede ser utilizado en una vivienda inteligente. Implantando como centro de operaciones la tarjeta ESP8266, como control de los actuadores la lógica difusa y como intermediario con el usuario Alexa™.

2. CONOCIMIENTOS PREVIOS

2.1 ESP8266

Como se indica en “Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas” (Ceja et. al., 2017), el ESP8266 es un microcontrolador diseñado por la compañía *Espressif Systems*. Su producción en masa inicio hasta principios del año 2014, donde se anunció que este chip sería una excelente solución autómatas de redes Wi-Fi que se ofrece como puente entre los microcontroladores que hasta ahora existen o tiene la capacidad de ejecutar aplicaciones independientes.

2.2 ESP-12F WiFi module

El módulo ESP-12F fue desarrollado por *Ai-Thinker Technology*. El núcleo del procesador ESP8266 integra el microcontrolador líder en la industria *Tensilica L106 ultra-*

low-power de 32 bits en un encapsulado pequeño con modo ligero de 16-bits, soportando frecuencias de 80MHz y 160MHz, soporte de TROS, e integración de Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA.

2.3 Arduino

Según Herger y Bodaky (2015), Arduino es una placa microcontroladora compuesta por una plataforma de hardware libre y un software IDE (Entorno integrado de desarrollo, por sus siglas en inglés), que puede ser usado para escribir código y manipular *hardware*. Existen distintos tipos de placas Arduino en el mercado que tienen la capacidad de adaptarse tanto al precio como a las necesidades del proyecto que se quiera realizar. Esta placa es el centro de muchos proyectos y prototipos de domótica (Baraka, 2013; Chatteraj, 2015) y de internet de las cosas (Vimal, & Shivaprakasha, 2017; Ferreira et. al., 2013).

2.4 Controladores difusos

Lofti A Zadeh (1965) propuso el concepto de lógica difusa. Por medio de esta lógica es posible simular los mecanismos del razonamiento humano. Se dice que estos sistemas se basan en la experiencia (aunque no todos utilizan esta premisa), y con ellos podemos evaluar la incertidumbre de los procesos cognitivos humanos. La lógica difusa es una forma de representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad de un problema.

La lógica difusa emplea valores de números reales comprendidos entre 0 y 1. Estos valores corresponden al grado de pertenencia que se le asigna a un valor de entrada dentro del conjunto difuso. Al ser multivaluada, una entrada puede pertenecer al mismo tiempo a más de un conjunto difuso, con un valor de pertenencia distinto para cada conjunto. Por lo tanto, los conjuntos difusos proporcionan una transición suave entre una característica y otra.

Este concepto matemático ha generado una herramienta altamente utilizada en los sistemas tecnológicos: los controladores difusos. Un controlador difuso estándar se representa en la figura 1.

Estos sistemas han sido el eje principal en el desarrollo de una gran cantidad de aplicaciones e interfaces como el control de señales PWM (Modulación por Ancho de Pulsos, por sus siglas en inglés), y el funcionamiento de los motores de inducción (Sharma et. al., 2019), el control de la estabilización de un sistema de silla de ruedas (Jamin et. al., 2018), el control de sistemas de robots con llantas (Castillo & Aguilar, 2019), entre otros.

3. ESTADO DEL ARTE

En la literatura científica existe una amplia variedad de modelos de sistemas domóticos. Muchos de ellos gestionados por diferentes tarjetas de desarrollo como Arduino (Nayyar et. al., 2017; Sulayman et. al., 2017),

Raspberry (Jain et. al., 2014; Patchava et. al., 2015), entre otras.

Uno de los principales sistemas que componen a las casas inteligentes son los sistemas de comunicación. Esto se debe a que los sistemas de comunicación son los encargados de transmitir las órdenes, o los datos adquiridos por medio de los sensores, entre cada uno de los actuadores y sistemas de control. Podemos encontrar diferentes esquemas de comunicación como Wi-Fi (Folea et. al., 2012; Gill et. al., 2009), Bluetooth (Piyare & Tazil, 2011; Lee & Choi, 2003), comunicación celular (Teymourzadeh et. al., 2013), entre otros.

Como podemos notar, en la era moderna, existe una gran cantidad de tecnologías y dispositivos con los cuales es posible desarrollar diferentes proyectos tecnológicos. Esto nos permite experimentar con diferentes herramientas y así poder escoger la mejor de ellas para desarrollar una idea. Una de estas tecnologías novedosas es Alexa. Alexa es un asistente virtual inteligente desarrollado por *Amazon*. Independientemente de su uso comercial, este sistema ha sido utilizado en diferentes proyectos que implican la interacción con el IoT (Internet de las Cosas por sus siglas en inglés) (Dotihal et. al., 2019; Panwar et. al., 2017).

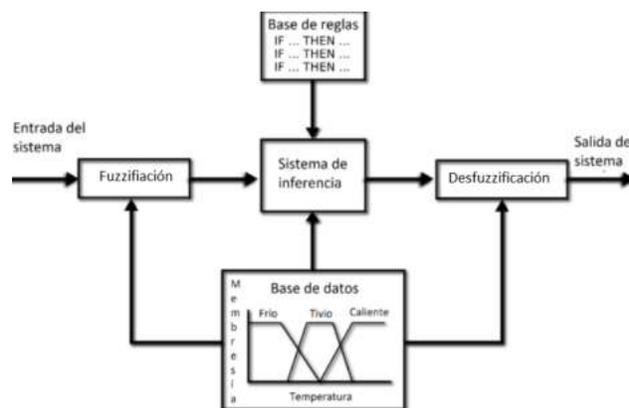


Fig. 1. Esquema básico de un sistema de control difuso.

4. DESARROLLO

En este trabajo se utilizó la interfaz de reconocimiento de voz Alexa para mandar instrucciones a la tarjeta de desarrollo que contiene al módulo ESP-12F Wi-Fi. Por medio de esta tarjeta se enviaron instrucciones a la computadora a través del puerto serial. En la computadora se recogieron los datos por medio de un script desarrollado en *Matlab* que nos permitió ejecutar los controladores difusos. Posteriormente se enviaron las señales de control a una tarjeta Arduino UNO para que, por medio de sus pines de salida, se manden estas señales con el fin de comandar distintos actuadores. El esquema general puede verse en la figura 2.

El prototipo de control, consta de los siguientes elementos:

1. Un sistema de iluminación interior con encendido y apagado suave. Este sistema tendrá una potencia regulable la cual dependerá de la iluminación ambiental. Además, este sistema estará regulado por un controlador difuso comandado a su vez por Alexa.

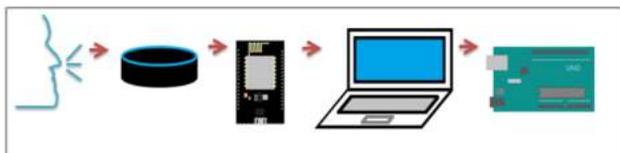


Fig. 2. Mecanismo de envío de la información del sistema de domótica.

2. Un sistema de control de aire acondicionado con modo refrigerador y bomba de calor con el uso de un controlador difuso y comandado por Alexa.

Los materiales que se utilizaron son: Echo Dot (Bocina inteligente de Amazon), tarjeta de desarrollo Node MCU (Unidad microcontrolador, por sus siglas en inglés) con el módulo ESP-12F Wi-Fi, una tarjeta de desarrollo Arduino UNO y una computadora con MATLAB y el IDE de Arduino instalados.

Para iniciar la comunicación desde la tarjeta Node MCU, a través del puerto serial, hacia la computadora, Alexa debe encender o apagar alguno de los dispositivos definidos. Cada dispositivo cuenta con instrucciones para escribir en el puerto serial como se muestra en el código 1. En este fragmento de código puede verse que, cuando se solicita encender el dispositivo “Iluminación”, la tarjeta Node MCU envía por el puerto serial una cadena de caracteres de la forma “01 00 1 255”. Por otro lado, envía una cadena de la forma “01 00 0” cuando se le ordene apagar dicho dispositivo. Estas cadenas contienen la acción a realizar, el dispositivo sobre la que se efectúa y la intensidad con la que se realiza. El significado de las cadenas de caracteres enviadas por el puerto serial hacia la computadora puede verse en la figura 3. El dispositivo encargado de recibir las órdenes del usuario es el Echo Dot.

Una vez que se definieron las acciones a realizar, buscamos por medio del asistente virtual Alexa todos los dispositivos compatibles con él.

Una vez que se encontraron los dispositivos, se comenzó a dar órdenes al asistente virtual para activarlos o desactivarlos. Al visualizar el puerto serial correspondiente a la tarjeta Node MCU, después de indicar al asistente virtual Alexa que encienda y apague los diferentes dispositivos, se lograron observar los valores mostrados en la figura 4. Esta figura nos indica como se ejecutaron las instrucciones programadas en la tarjeta por medio de comandos en Alexa. Una vez definido el sistema de comunicación e intercambio de información, vamos a describir el control de iluminación realizado.

```
void Iluminacion(uint8_t brightness){
  if(brightness){
    String myString = String(brightness);
    cadena = "01" "00" "1" + myString;
    Serial.println(cadena);
  }
  else{
    String myString = String(brightness);
    cadena = "01" "00" "0";
    Serial.println(cadena);
    brightness=255;
  }
}
```

Código 1. Instrucciones de comunicación.

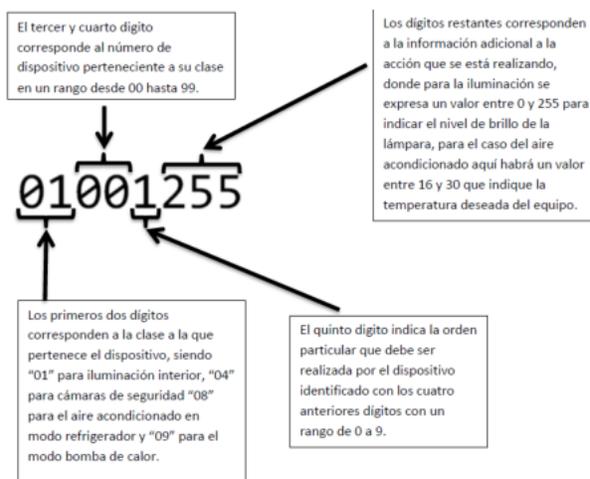


Fig. 3. Forma de las cadenas de caracteres enviadas desde la tarjeta Node MCU hacia la computadora.

4.1 Control de iluminación

En nuestra propuesta se tiene el interés de lograr un sistema de iluminación con potencia regulable, con el fin de reducir el consumo eléctrico. La potencia regulable dependerá de la cantidad de iluminación presente en el ambiente. Por ejemplo, si la iluminación del ambiente es alta entonces no es necesario que las luces enciendan a su máxima potencia, lo harían a una potencia baja o incluso podrían mantenerse apagadas. Esto último se busca con el fin de lograr una mejor integración del sistema de iluminación a los cambios en la iluminación natural. Para lograrlo, se realizó un sistema el cual consiste en convertir la cantidad de iluminación a un valor de voltaje con el uso de un LDR (Resistencia dependiente de la luz, por sus siglas en inglés) conectado en un divisor de tensión. Posteriormente, se introduce este voltaje en el conversor analógico digital de la tarjeta Arduino, con el fin de ingresar este valor como entrada en el controlador difuso. Una vez obtenida la salida del controlador difuso, esta salida se utiliza como ciclo de trabajo para generar una señal PWM la cual se aplicará a la base de un transistor conectado en emisor común. Esto se puede visualizar en el diagrama de la figura 5.

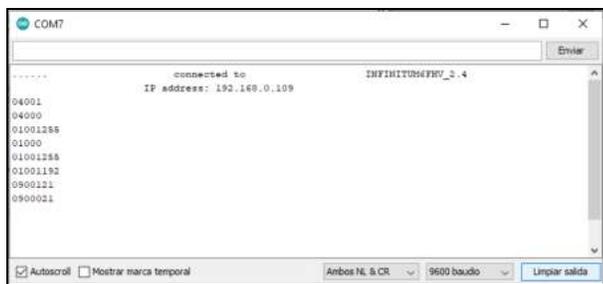


Fig. 4. Lectura del puerto serial correspondiente a la tarjeta Node MCU.

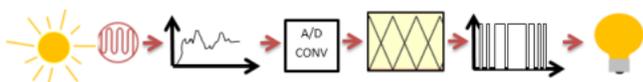


Fig. 5. Diagrama general de funcionamiento del regulador de potencia de la iluminación.

Para hacer el controlador difuso, se utilizó la herramienta “*Fuzzy logic designer*” de *Matlab*. Esta herramienta nos permite diseñar las funciones de membresía y modificar algunos los parámetros como el universo del discurso y las reglas de control. En la figura 6 pueden verse las funciones de membresía para la entrada y para la salida elaboradas para el control lumínico. En la figura 7 se muestra la forma en la que las reglas utilizadas para el control lumínico afectan a los conjuntos difusos.

El circuito de un transistor BC547 conectado en emisor común, nos permitió controlar la intensidad lumínica por medio del sistema difuso. A su vez, este sistema fue controlado por medio de Alexa, logrando así la conexión y control vía internet por medio de una orden vocal del usuario.

Como se mencionó anteriormente, el propósito general de este trabajo es poder controlar un sistema domótico completo por medio de voz y que las intensidades y reacciones de cada actuador de salida sean determinadas por medio de elementos difusos.

4.2 Control Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado

Un aspecto importante dentro de los sistemas domóticos es el sistema HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado, por sus siglas en inglés). Debido a lo anterior, en este proyecto también se incluyó el sistema HVAC para ser controlado por Alexa.

Para la realización del controlador del aire acondicionado que funcione como bomba de calor así como refrigerador se requiere que se pueda invertir el flujo de refrigerante dentro del sistema, por medio de un pulso hacia una válvula inversora que pudiera hacer esta tarea. También para hacer que el motor de un compresor funcione a la velocidad necesaria, se requiere un mecanismo de control para el motor que disminuya su velocidad cuando así se necesite.



Fig. 6. Funciones de membresía de entrada y salida para el control lumínico.

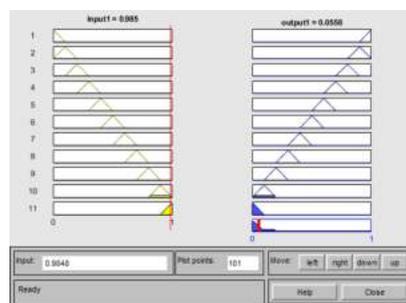


Fig. 7. Funciones de membresía de entrada y salida para el control lumínico afectadas por las reglas del sistema.

También para hacer que el motor de un compresor funcione a la velocidad necesaria, se requiere un mecanismo de control para el motor que disminuya su velocidad cuando así se necesite.

El sistema HVAC que se propone utiliza un sensor de temperatura LM35 para obtener la temperatura del ambiente donde se encuentra operando. Para interactuar con el dispositivo de aire acondicionado se utilizará una pantalla LCD (Display de cristal líquido, por sus siglas en inglés) y dos botones físicos. La pantalla LDC se enciende en el momento de la activación del sistema, tanto para el aire acondicionado como para la calefacción. Mientras que los botones físicos sirven para modificar el valor de la temperatura a una deseada por el usuario.

El funcionamiento de este sistema consiste en la activación del dispositivo “Aire acondicionado” por medio del asistente virtual. A partir de este momento, se comienza a medir la temperatura del ambiente por medio del sensor LM35. A través del puerto serial llega la información de la

temperatura a la computadora y se calcula el error existente entre la temperatura deseada y la temperatura actual de la habitación. Dicho error es suministrado como entrada a un controlador difuso el cual posee reglas de control. Estas reglas presentan la siguiente lógica: Si el error es muy grande, entonces la potencia suministrada al motor debe ser muy grande; Si el error es muy pequeño, entonces la potencia suministrada al motor debe ser pequeña.

Una vez que obtengamos la salida del controlador difuso podemos emplear un circuito electrónico que reciba la salida del controlador y entregue una señal de corriente alterna de frecuencia variable para controlar la velocidad del motor. Lo anterior se resume en la figura 8.

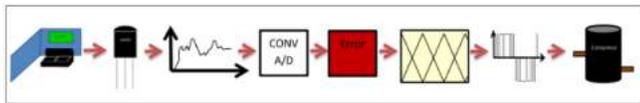


Fig. 8. Esquema general del sistema de aire acondicionado HVAC.

En la figura 9 pueden verse las funciones de membresía para la entrada y la salida de nuestro sistema de control, mientras que en la figura 10 puede observarse el conjunto de reglas de control.

Si el error de temperatura es positivo, el dispositivo “Aire acondicionado” se apaga automáticamente. Por otro lado, si el error de temperatura es menor a cero, se evalúa la entrada en el controlador difuso y posteriormente se escribe la salida como ciclo de trabajo PWM en el pin “D9” del Arduino. El pin “D2” del Arduino será el pin que entrega el estado lógico en el que trabaja la bobina de la válvula inversora. De modo que cuando se active el aire acondicionado, el pin “D2” toma el valor de 0 lógico, mientras que cuando se active la bomba de calor el pin “D2” toma un valor lógico de 1.

En la figura 11 puede verse la impresión de las cadenas de caracteres en una pantalla LCD al ejecutar el código grabado en la tarjeta Node MCU.

El sistema funcionó en su primera etapa, por lo que, en trabajos futuros, se desarrollarán de las siguientes fases de integración.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se presentó el desarrollo un sistema domótico controlado por medio de Alexa. El sistema consta de dos variables la luminosidad interna y la temperatura de un inmueble. Ambas variables se modificaron de acuerdo con la respuesta de los controladores difusos. Se logró generar una conexión y control exitoso de dos magnitudes físicas dentro de un sistema domótico. Debido a lo anterior, consideramos que el escalamiento a más sensores y actuadores puede ser realizado eficientemente, y de esta

forma, generar el control total de una vivienda o edificio. La construcción de un sistema para el control total de una vivienda o edificio se realizará en los siguientes trabajos.

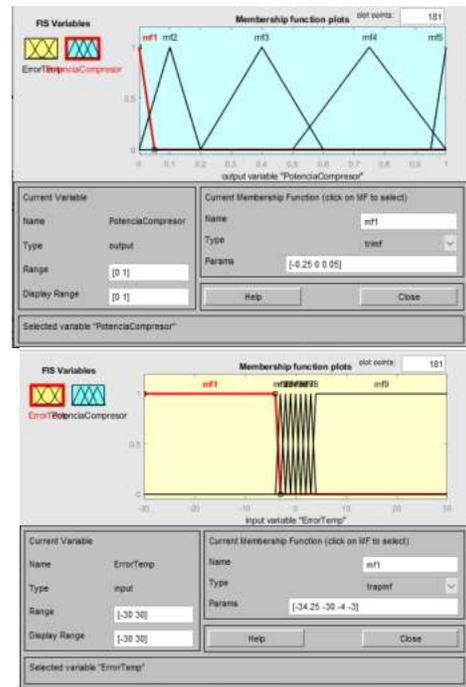


Fig. 9. Funciones de membresía del controlador difuso del aire acondicionado.

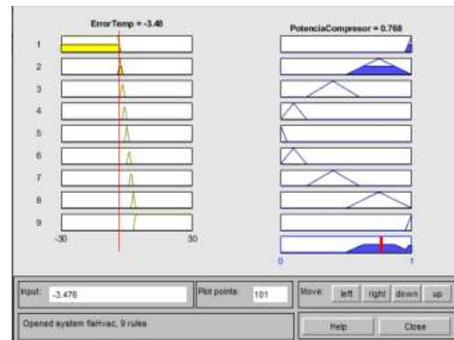


Fig. 10. Reglas del controlador difuso para el sistema de aire acondicionado y calefacción.



Fig. 11. Pantalla LCD mostrando la temperatura deseada del lado izquierdo. En el lado derecho se muestra la misma pantalla LCD mostrando el texto “CALEFACTOR”, después de haber encendido dicho dispositivo por medio de Alexa.

Agradecimientos. Este artículo fue apoyado por los proyectos PAPIME PE103322, CI 2254 y PIAPIME 1.31.27.22 de la UNAM y la FESC.

REFERENCIAS

- Baraka, K., Ghobril, M., Malek, S., Kanj, R., & Kayssi, A. (2013, June). Low cost arduino/android-based energy-efficient home automation system with smart task scheduling. In *2013 Fifth international conference on computational intelligence, communication systems and networks* (pp. 296-301). IEEE.
- Castillo L. T. & Aguilar (2019), Fuzzy Control for Wheeled Mobile Robots, in Type-2 Fuzzy Logic in *Control of Nonsmooth Systems*, pp. 85–96.
- Ceja, J., Rentería, R., Ruelas, R., & Ochoa, G. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *Revista de Ingeniería eléctrica*, 1(2), 24-36.
- Chattoraj, S. (2015). Smart Home Automation based on different sensors and Arduino as the master controller. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(10), 1-4.
- Domínguez, H. M., & Vacas, F. S. (2006). *Domótica: Un enfoque sociotécnico*. Fundación Rogelio Segovia para el desarrollo de las Telecomunicaciones.
- Dotihal, R., Sopori, A., Muku, A., Deochake, N., & Varpe, D. T. (2019). Smart homes using alexa and power line communication in IoT. In *International Conference on Computer Networks and Communication Technologies* (pp. 241-248). Springer, Singapore.
- Ferreira, H. G. C., Canedo, E. D., & De Sousa, R. T. (2013, October). IoT architecture to enable intercommunication through REST API and UPnP using IP, ZigBee and arduino. In *2013 IEEE 9th international conference on wireless and mobile computing, networking and communications (WiMob)* (pp. 53-60). IEEE.
- Folea, S., Bordenca, D., Hotea, C., & Valean, H. (2012, May). Smart home automation system using Wi-Fi low power devices. In *Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics* (pp. 569-574). IEEE.
- Gill, K., Yang, S. H., Yao, F., & Lu, X. (2009). A zigbee-based home automation system. *IEEE Transactions on consumer Electronics*, 55(2), 422-430.
- Guez, A., Eilbert, J. L., & Kam, M. (1988). Neural network architecture for control. *IEEE control systems Magazine*, 8(2), 22-25.
- Herger, L. M., & Bodarky, M. (2015, March). Engaging students with open source technologies and Arduino. In *Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, 2015 IEEE (pp. 27-32). IEEE. doi: 10.1109/ISECon.2015.7119938.
- Jain, S., Vaibhav, A., & Goyal, L. (2014, February). Raspberry Pi based interactive home automation system through E-mail. In *2014 International Conference on Reliability Optimization and Information Technology (ICROIT)* (pp. 277-280). IEEE.
- Jamin N. F., Ghani N. M. A., Ibrahim Z., Masrom M. F., Razali N. A. A., and Almeshal A. M. (2018), Two-wheeled wheelchair stabilization using interval type-2 fuzzy logic controller, *Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol.*
- Kramer, O. (2017). Genetic algorithms. In *Genetic algorithm essentials* (pp. 11-19). Springer, Cham.
- Lee, K. Y., & Choi, J. W. (2003, August). Remote-controlled home automation system via bluetooth home network. In *SICE 2003 Annual Conference* (IEEE Cat. No. 03TH8734) (Vol. 3, pp. 2824-2829). IEEE.
- Nayyar, C., Valarmathi, B., & Santhi, K. (2017, April). Home security and energy efficient home automation system using arduino. In *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)* (pp. 1217-1221). IEEE.
- Panwar, A., Singh, A., Kumawat, R., Jaidka, S., & Garg, K. (2017, July). Eyrre smart home automation using Internet of Things. In *2017 Computing Conference* (pp. 1368-1370). IEEE.
- Patchava, V., Kandala, H. B., & Babu, P. R. (2015, December). A smart home automation technique with raspberry pi using iot. In *2015 International conference on smart sensors and systems (IC-SSS)* (pp. 1-4). IEEE.
- Piyare, R., & Tazil, M. (2011, June). Bluetooth based home automation system using cell phone. In *2011 IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)* (pp. 192-195). IEEE.
- Sharma S., Agrawal, & Bandopadhaya, S. Springer (2019), Fuzzy Logic Controlled Variable Frequency Drives, Harmon. Search Nat. *Inspired Optim. Algorithms*, pp. 1153–1164.
- Sulayman, I. I. A., Almalki, S. H., Soliman, M. S., & Dwairi, M. O. (2017, May). Designing and implementation of home automation system based on remote sensing technique with Arduino Uno microcontroller. In *2017 9th IEEE-GCC Conference and Exhibition (GCCCE)* (pp. 1-9). IEEE.
- Telefónica, F. (2011). Smart Cities: un primer paso hacia la internet de las cosas (Vol. 16). Fundación Telefónica.
- Teymourzadeh, R., Ahmed, S. A., Chan, K. W., & Hoong, M. V. (2013, December). Smart GSM based home automation system. In *2013 IEEE conference on systems, process & control (ICSPC)* (pp. 306-309). IEEE.
- Vimal, P. V., & Shivaprakasha, K. S. (2017, July). IOT based greenhouse environment monitoring and controlling system using Arduino platform. In *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)* (pp. 1514-1519). IEEE.
- Zadeh L. A. (1965). Fuzzy Sets-*Information and Control*-1965, Inf. Control.
- Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer*, 21(4), 83-93.