

SISTEMA DETECTOR DE ALACRANES USANDO IOT CON BLE

Área técnica: Sistemas Digitales y Computación

José Ignacio Vega Luna, Víctor Noé Tapia Vargas, Mario Alberto Lagos Acosta, Gerardo Salgado Guzmán,
Francisco Javier Sánchez Rangel, José Francisco Cosme Aceves.

Área de Sistemas Digitales, Departamento de Electrónica, Universidad Autónoma Metropolitana-
Azcapotzalco.

Av. San Pablo 180, Col. Reynosa, C.P. 02200, Cd. de México.
vlji@azc.uam.mx

RESUMEN.

Se presenta un sistema cuyo objetivo fue detectar la presencia de alacranes en una granja usando IoT. Se implantó una red de detección integrada por cinco nodos que utilizan tecnología de comunicación Bluetooth Low Energy. Los nodos están integrados por un controlador ESP32, un transceptor inalámbrico y la interfaz a una cámara. Uno de los nodos funciona como maestro de la red y el resto como esclavos. Cuando un esclavo detecta un alacrán captura la imagen y la transmite al maestro quien transmite un mensaje de alerta a un teléfono móvil. En el nodo maestro reside un servidor web y la interfaz de usuario mediante la cual se accede a la cámara de los esclavos. El alcance logrado en la red fue 77 metros, mayor al de otras tecnologías inalámbricas.

Palabras Clave: alacranes, Bluetooth Low Energy, ESP32, IoT, servidor web.

ABSTRACT.

This paper presents a system whose objective was to detect the presence of scorpions in a farm using IoT. A detection network consisting of five nodes using Bluetooth Low Energy communication technology was implemented. The nodes are made up of an ESP32 controller, a wireless transceiver and the interface to a camera. One of the nodes works as a network master and the rest as slaves. When a slave detects a scorpion, it captures the image and transmits it to the master, who transmits an alert message to a mobile phone. On the master node run a web server and the user interface through which the slave chamber is accessed. The range achieved on the network was 77 meters, greater than that of other wireless technologies.

Keywords: Bluetooth Low Energy, ESP32, IoT, scorpions, web server.

1. INTRODUCCIÓN

La intoxicación por el veneno de la picadura de alacrán representa un problema de salud pública en muchos estados de la República Mexicana ya que esto afecta a grandes núcleos de población, tanto en el medio rural como en el urbano. Cada año se presentan numerosos casos de picaduras por este arácnido, de los cuales algunos pueden terminar en fatalidades por falta de atención médica oportuna. Un especialista, no puede saber fácilmente si existe la presencia de alacranes en el interior de un recinto. Para controlarlos, al detectar su presencia se debe mantener una vigilancia activa.

Por otro lado, el rápido avance en el desarrollo de sistemas embebidos, dispositivos digitales y la expansión de nuevas tecnologías de comunicación, originaron desde hace algunos años el concepto de Internet de las Cosas (IoT-Internet of Things), con el cual los valores de datos obtenidos por sensores electrónicos empleados en automóviles, centros de datos, hogares, industrias, laboratorios, oficinas y teléfonos móviles, así como en infraestructura de ciudades, se puedan transferir a la Internet sin necesidad de la intervención de un usuario. La IoT admite muchos dispositivos y sensores de entrada-salida como cámaras, micrófonos, teclados, altavoces, pantallas, comunicación de campo cercano (NFC), y acelerómetros, entre otros.

Este trabajo se realizó por requerimiento de una empresa propietaria de una granja experimental. El objetivo fue monitorear y controlar la activación de cámaras de video para detectar y visualizar remotamente la presencia de alacranes en la granja a través de la Internet. Cuando se detecte la presencia de un alacrán, se debe capturar la imagen para ser analizada por especialistas y enviar un mensaje de alerta de WhatsApp a un teléfono móvil. La tecnología de comunicación usada debe ser de bajo consumo de potencia para poder utilizar baterías de larga duración y la instalación del sistema no debe emplear ningún tipo de cableado.

El control de plagas en granjas juega un papel esencial en su operación y se considera prioritario. El hecho que sea mediante agentes químicos puede ser no suficiente, o no aconsejable sobre todo en lugares donde, por su naturaleza, no es permitida la fumigación por posibles daños a la salud de humanos o animales. Con el desarrollo de la tecnología en telecomunicaciones y sistemas digitales, en hogares e industrias se ha puesto en operación el control de máquinas controladas digitalmente, reemplazando a una cantidad importante de equipos y sistemas tradicionales. La IoT incorpora cada vez más tecnología como luces led, pantallas táctiles de alta definición, altavoces y cámaras de video para interactuar con el usuario. Esto ha permitido mejorar la productividad integrando en las granjas nuevas tecnologías.

A pesar de que el control de plagas por fumigación sea periódico, la tarea de detectar y eliminar alacranes no es trivial ni sencilla. De manera similar, algunas acciones, como por

ejemplo determinar en los alacranes la especie, género y tamaño, se realiza manualmente. En caso de picadura es de suma importancia determinar estas características, para el adecuado tratamiento del envenenamiento, lo que implica capturar al espécimen que realizó la picadura, lo cual no es siempre posible, sin embargo, una imagen obtenida de éste puede ser de mucha ayuda.

La propuesta de solución consistió en instalar una red compuesta por cuatro módulos detectores y un módulo central. Se usó tecnología Bluetooth de baja energía (BLE-Bluetooth Low Energy) para la comunicación inalámbrica entre los módulos de la red y tecnología WiFi para la conexión de ésta a la Internet. El módulo detector más alejado se ubica a 45 metros del punto de acceso WiFi a la Internet. Cada módulo detector, consta de una unidad de iluminación ultravioleta, una cámara de video y un transceptor BLE.

La idea detrás de esto consiste en iluminar con luz ultravioleta diferentes áreas de la granja. Dado que los alacranes presentan un fenómeno, poco conocido y estudiado, de emisión de fluorescencia azul-verdosa cuando se les hace incidir sobre el cuerpo una radiación ultravioleta con una longitud de onda de 350 a 400 nm, se puede detectar su presencia usando una cámara en los módulos detectores.

Durante los últimos años, se han desarrollado diversas tecnologías de comunicación por radio frecuencia de bajo costo y bajo consumo de energía con gran cobertura geográfica, las cuales brindan buena relación costo/beneficio, entre las cuales se encuentran: ZigBee, LoRa (Long Range), BLE y Wifi. Las tres primeras se utilizan para implantar redes de bajo consumo de energía de sensores y actuadores. Las tecnologías ZigBee y LoRa se emplean para transmitir cantidades pequeñas de información y su ancho de banda es pequeño, 250 Kbps y de 0.3 Kbps a 50 Kbps, respectivamente. La tecnología BLE tiene un ancho de banda de 32 Mbps. El alcance de los transceptores ZigBee es 100 metros, el de los transceptores LoRa es de varios kilómetros y existen transceptores BLE cuyo alcance son 100 metros nominalmente [1].

En todo el mundo los alacranes y escorpiones se consideran un problema de salud pública. Generalmente, la especie a la que pertenecen este tipo de animales se determina por las características físicas y se ha usado una cantidad diversa de métodos para tal fin. Sin embargo, los métodos más recientes incluyen el uso de técnicas avanzadas como: procesamiento de imágenes, aprendizaje de máquinas y redes neuronales [2]; enfoque de modelado de vibración de sustrato muestreando el comportamiento obteniendo una onda senoidal para detección temprana de escorpiones y evitar picaduras [3] y uso de señales de radar y arreglos de antenas de RF sobre fibra óptica para el seguimiento de animales venenosos en el desierto [4], entre otras.

En cuanto a la detección y seguimiento de animales, las investigaciones de los últimos años han creado aplicaciones usadas en la medicina, rescate de personas y acciones anti-terrorismo como por ejemplo: distinción de humanos y

animales basados en: señales de radar en la banda ultra ancha usando la energía de micro-vibraciones emitida por la frecuencia de respiración humana [5]; sistemas anti-colisión de vehículos autónomos [6]; seguimiento de animales acuáticos mediante un resonador magneto-acústico y en el movimiento de baja frecuencia [7]; uso de tomografía de emisión de positrones, procesamiento de señales con un FPGA y cristales de oxocilicato de lutecio-ytrio para determinar la cantidad de energía emitida por el cerebro de un animal [8]; clasificación de animales en vida salvaje usando imágenes aéreas y redes neuronales profundas convolucionales [9] o animales translúcidos de alto contraste para estudios de comportamiento biomédicos aprovechando las proteínas fluorescente [10]; detección de animales en autopistas [11], usando tomografía foto-acústica y absorción óptica de cromóforos de tejido endógeno para generar estructuras anatómicas y vasculares [12] o en vida salvaje usando verificación de parches temporales en imágenes de video para eliminar falsos positivos en fondos dinámicos [13] y seguimiento de animales en regiones polares usando bio-sensores de olores [14].

Por otra parte, el desarrollo de la IoT está llevando la vida humana a ser más inteligente, con nuevos retos y oportunidades. Los dispositivos inalámbricos de bajo costo y consumo de energía son la solución más adecuada para bastantes aplicaciones de la IoT. Las aplicaciones de IoT usan diferentes tipos de tecnologías de comunicación, una de ellas es BLE [15]. Comparada con Bluetooth clásico, la tecnología BLE ha sido mejorada en muchos aspectos, entre los que se incluyen el manejo de la conexión simplificada, el intercambio de información y los procesos de encriptamiento usados [16]. Las últimas investigaciones realizadas se han enfocado en optimizar la forma de establecer y llevar a cabo la comunicación con esta tecnología [17] como por ejemplo la configuración de redes de malla BLE [18] y creación de mecanismos de firmas digitales usados en la seguridad de la transmisión de información [19]. Son diversos los usos de la tecnología BLE entre los que se encuentran: el cuidado de la salud [19]-[21]; monitoreo ambiental y parámetros en edificios [22]; ciudades inteligentes [23] y localización de personas [24].

Las investigaciones, aplicaciones o desarrollos de este tipo realizados hasta ahora se han enfocado a la detección de alacranes basada en su morfología y composición bilógica [25]. El propósito ha sido médico para la obtención de veneno y elaboración de vacunas. En el aspecto de control de plagas, las aplicaciones realizadas son de tipo químico. La aplicación presentada en este trabajo resuelve la necesidad de tener un método preventivo de envenenamiento de personas y animales de granja por picadura de alacrán, adosada a la visualización del animal para tratar de identificar la especie a la que pertenece de forma inmediata y eventualmente resolver el problema de la aplicación del antídoto necesario. La ventaja resultante de este trabajo es que hace uso de tecnologías no intrusivas, además de reducir costos habituales de técnicas obsoletas no fiables, al no ser necesario perforar o instalar

ningún cableado y dada la innovación de sensores en conjunto con la IoT, resulta una solución ecológica.

2. DESARROLLO

El desarrollo se realizó estructurando el sistema en una red con dos tipos de nodos o módulos: los módulos detectores y el módulo central, como se indica en el diagrama funcional de la Figura 1.

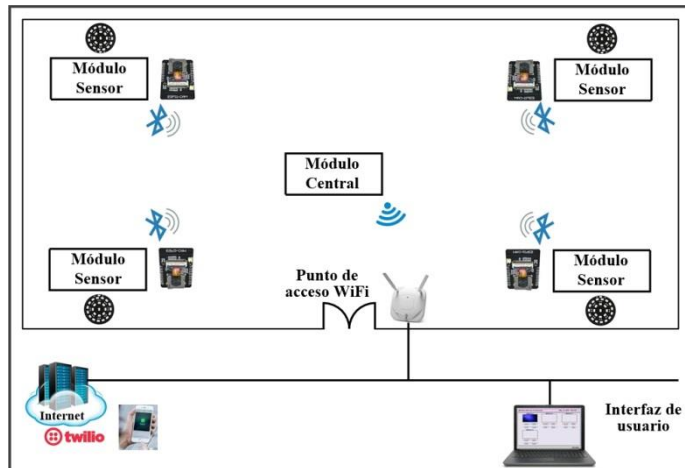


Fig. 1. Diagrama funcional del sistema

2.1. Los módulos detectores.

Las funciones de los módulos detectores, instalados en diversas áreas de la granja, son: detectar la presencia de alacranes, obtener la imagen del arácnido y transmitirla al módulo central. Cada módulo detector está compuesto de tres elementos funcionales: la tarjeta ESP32-CAM, la iluminación UV y el sensor de imagen. En la Figura 2 se indica la arquitectura de los módulos detectores.

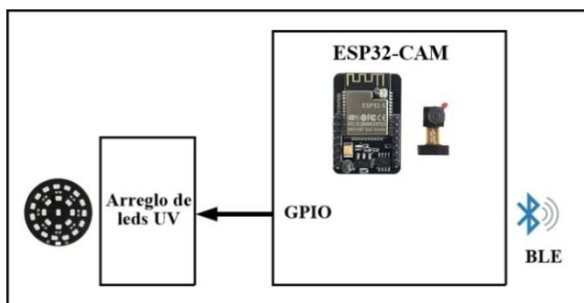


Fig. 2. Arquitectura del módulo detector

La tarjeta ESP32-CAM integra núcleos basados en microcontroladores ESP32 e interfaces WiFi y BLE de doble modo la cual utiliza líneas de circuito impreso como antenas. Puede funcionar independientemente como un sistema mínimo. Posee 2 CPU LX6 de 32 bits de alto rendimiento de arquitectura pipeline de 7 etapas, rango de frecuencia de 80

MHz a 240 MHz, sensores de temperatura y de efecto Hall. Es adecuada para aplicaciones con dispositivos inteligentes del hogar, control inalámbrico industrial, vigilancia inalámbrica, identificación inalámbrica QR, posicionamiento inalámbrico, señales de sistema y otras aplicaciones de IoT.

La iluminación UV consta de un arreglo de 24 leds ultravioleta UV5TZ-385-30 con longitud de onda de 385 nm, tolerancia ajustada de +/-2.5 nm y 30° de ángulo de iluminación. El arreglo cuenta con un diodo Zener que proporciona un circuito de protección contra descargas electrostáticas. Puede ser encendido o apagado remotamente por el operador del sistema mediante la interfaz de usuario.

El sensor de imagen es un dispositivo de cámara OV2640 de tecnología CMOS de bajo voltaje que proporciona la funcionalidad completa de una cámara UXGA (1632x1232) en un solo circuito integrado con procesador de imágenes incluido. El OV2640 entrega imágenes de 8 o 10 bits de cuadro completo, sub muestreado, escalado o de ventana con gran gama de formatos, controlados a través de la interfaz del bus de control de cámara serie (SCCB-Serial Camera Control Bus). La matriz de imágenes funciona hasta una velocidad de 15 cuadros por segundo (fps) en resolución UXGA. Se puede configurar la calidad de la imagen, el formato y la transferencia de datos de salida. El sensor de imagen se conectó a la tarjeta ESP32-CAM de este módulo a través de la interfaz SCCB.

El transceptor de comunicaciones BLE de la red está integrado en la tarjeta ESP32-CAM. BLE es un protocolo ligeramente diferente al Bluetooth tradicional. Es más adecuado para aplicaciones de IoT de baja potencia. Los dispositivos que trabajan con BLE pueden tener dos roles en una conexión: dispositivo central o dispositivo periférico. En general, los dispositivos centrales son teléfonos celulares, tabletas, computadoras e impresoras, entre otros. Estos dispositivos son los que reciben datos. Los dispositivos periféricos son sensores y dispositivos de baja potencia que se conectan al central, es en sí una estructura de cliente/servidor, donde un móvil es el cliente y el sensor es el servidor que proporciona datos al cliente. En este protocolo el perfil de atributo genérico GATT (Generic Attributes) es la forma mediante la cual se organizan los datos para la comunicación entre dispositivos BLE. El GATT se compone de uno o más servicios que, a su vez, integran características. Las características son básicamente los valores de parámetros o variables. En el desarrollo de este trabajo se configuraron los cuatro módulos detectores como servidores BLE y el módulo central como cliente.

La programación de la tarjeta ESP32-CAM se realizó usando Python y OpenCV. La detección del alacrán se llevó a cabo en dos etapas: la detección de movimiento y el reconocimiento del arácnido. En la primera etapa se usó el método de sustracción de fondo o diferencia temporal. Este método consiste en obtener una imagen binaria, en la cual, las regiones con valor 1 indican los objetos en movimiento y las regiones con valor 0 representan el fondo. La imagen binaria se genera usando un umbral en el

resultado de la sustracción de la imagen capturada con una imagen de fondo o segundo plano.

El método se basó en el uso de una imagen de referencia, sin movimiento de la escena, y cuatro imágenes capturadas posteriormente. La primera imagen se denomina fondo o segundo plano y las siguientes se llaman imágenes de primer plano, el grupo de cuatro imágenes se captura cada 10 segundos, es decir, se intenta determinar movimiento cada 10 segundos. Se detectan zonas en movimiento comparando las imágenes del primer con el segundo plano para encontrar las diferencias entre ellas. La comparación se realiza mediante la resta o sustracción, donde la imagen resultante es de fondo negro y las zonas donde se detecta movimiento son de color distinto. La implantación se llevó a cabo en ocho pasos usando las funciones siguientes de OpenCV: 1) Creación de la imagen de referencia, `cv2.VideoCapture()`, `cap.read()`, `cv2.cvtColor()` y `cv2.GaussianBlur()`; 2) Captura de las imágenes de comparación de primer plano, se usaron las funciones empleadas en la etapa anterior; 3) Obtención de la diferencia absoluta en las imágenes de comparación, `cv2.absdiff()`, `cv2.bitwise_and()` y `cv2.absdiff()`; 4) Obtención de la diferencia absoluta entre la imagen de referencia y las de comparación, `cv2.GaussianBlur()` y `cv2.absdiff()`; 5) Creación de la imagen binaria de la diferencia absoluta, `cv2.threshold()`; 6) Dilatación de la imagen binaria, `cv2.dilate()`; 7) Obtención de los contornos, `cv2.findContours()` y 8) Creación del rectángulo en los contornos del objeto, `cv2.contourArea()` y `cv2.rectangle()`. En el último paso, se descartan los contornos de áreas pequeñas, objetos no deseados o no importantes, para evitar falsos positivos. El valor mínimo del área de los contornos a descartar es ajustable, depende de la aplicación y tipos de objetos a detectar. El resultado final es la imagen que contiene el objeto detectado marcado con un rectángulo.

Para reconocer si el objeto iluminado por la luz UV es un alacrán se utilizó la función de OpenCV `cv.cvtColor()` la cual convierte la imagen de la etapa anterior a formato HSV. HSV (hue, saturation, value) es un modelo para representar el espacio de colores de una imagen al modelo de colores RGB. Codifica los colores en tres canales: matiz, saturación y brillo o valor, en términos de sus componentes. Este modelo permite segmentar e identificar objetos en base al color de manera más sencilla que RGB. El canal de matiz indica el color o longitud de onda dominante en la imagen. La variación de la saturación expresa la pureza del color, toma valores desde no saturado, el cual representa sombras grises, hasta completamente saturado, donde no existen componentes blancos. El canal de valor indica la brillantez o intensidad del color. La ventaja de usar el HSV es que usa solo un canal, el H o matiz, para describir el color, lo cual hace que su aplicación sea sencilla.

Con la imagen en formato HSV, se utilizó la función `cv.inRange()`, mediante la cual se analiza la imagen para determinar si el valor de los píxeles se encuentran en el rango de valores del color especificado. Para el caso de los alacranes, en este trabajo los valores mínimo y máximo usados para los

píxeles fueron 50 y 70, respectivamente. Estos valores se determinaron al capturar imágenes de 50 alacranes, entre los cuales se encontraron las especies *Hadrurus gertschi* y *Centruroides noxius*, que son las más comunes en la mayoría de lugares calurosos de México. Si el valor de los píxeles está en el rango especificado, el módulo detector envía la imagen capturada, a través del transceptor BLE, al módulo sensor indicándole la detección.

En la programación del módulo detector, se utilizó también la biblioteca de funciones de código abierto *Pybluez* para implantar el protocolo de intercambio de información entre servidores y clientes BLE. El programa que se ejecuta en estos módulos lleva a cabo las siguientes acciones: 1) Configura la interfaz SCCB y la cámara de video; 2) Configura como salidas las terminales GPIO utilizadas para la iluminación UV; 3) Inicializa el transceptor BLE como servidor; 4) Crea el dispositivo BLE; 5) Crea el servicio del perfil de la jerarquía GATT; 6) Establece la característica BLE del servicio creado para transmitir en ella la imagen del alacrán asignándole la propiedad de tipo notificación BLE; 7) Arranca el servicio GATT; 8) Arranca una función en segundo plano para propagar el servidor BLE, anunciar su existencia y poder ser encontrado por el módulo cliente. Cuando el cliente se conecta y se ha detectado un alacrán, el servidor transmite en la característica BLE la imagen del arácnido; y 9) Inicia el programa principal, en el que invoca la función de detección de alacranes. En caso de detección afirmativa, esta función almacena en un buffer la imagen capturada antes de transmitirla.

2.2. El módulo central.

El módulo central, o cliente BLE, se implantó usando una tarjeta de desarrollo ESP32, como la mostrada en la Figura 3.

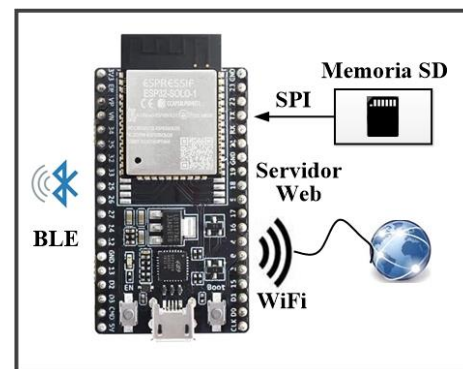


Fig. 3. El módulo central

Esta tarjeta cuenta con las siguientes características: CPU ultra pequeño de doble núcleo de 32 bits, de bajo consumo para aplicaciones con procesadores, interfaces WiFi 802.11b/g/n y BT/BLE, SRAM de 520 KB, memoria externa PSRAM de 4M y soporte para interfaces UART, SPI, I²C, PWM, ADC y DAC. La interfaz BLE de este módulo siempre está activada, en modo

de suspensión constante, excepto cuando inicia la recepción de información de uno de los módulos detectores.

El módulo central realiza dos tareas: A) Implantar la interfaz de usuario y B) Ejecutar en segundo plano la función que lleva a cabo la conexión periódica, cada 30 segundos, con los servidores BLE. La programación que implanta las tareas anteriores se realizó en Python y ejecuta las siguientes acciones: 1) Inicializa el transceptor WiFi y el transceptor BLE como cliente; 2) Crea el dispositivo BLE; 3) Crea el servicio de barrido que explora los servidores BLE; 4) Invoca en segundo plano la función que realiza periódicamente el barrido de servidores y la conexión a los mismos y 5) Inicia el programa principal en el que implanta al servidor web.

Cuando se lleva cabo la conexión con los servidores BLE, la función correspondiente recibe las características, o imágenes capturadas, las almacena en la memoria SD y transmite el mensaje de alerta al teléfono móvil usando la biblioteca de funciones de comunicación con la plataforma de IoT Twilio. Con esto, el operador del sistema puede visualizar en línea, mediante la interfaz de usuario, las imágenes de la cámara de los módulos detectores o bien descargar las imágenes previamente capturadas y almacenadas en la memoria SD. El análisis de estas imágenes para determinar las características y especie del alacrán no es parte de este trabajo.

La memoria SD usada es de 64 GB, a la cual se aplicó formato FAT32 y se conectó a la tarjeta ESP32 por medio de las cuatro líneas (MISO, MOSI, CLK y CS) del puerto SPI (Serial Peripheral Interface).

La interfaz de usuario es una página creada con HTML mostrada cuando se realiza la conexión al servidor web desde una computadora conectada a la Internet. El servidor web se encuentra ejecutándose en el módulo central y se desarrolló usando la biblioteca de funciones *WebServer.h*. En la Figura 4 se muestra la página principal de la interfaz de usuario.

En esta interfaz se presenta, para cada módulo detector: un cuadro donde se despliega la imagen del alacrán capturada por la cámara y cuatro botones. El primer botón permite conectar el módulo central con uno de los módulos detectores; el segundo se usa para encender la cámara; el tercero se utiliza para encender la luz ultravioleta y el cuarto permite indicar la captura manual o automática de la imagen. La interfaz cuenta adicionalmente con el botón *Descargar*, el cual puede usarse para descargar, desde la memoria SD, las imágenes capturadas durante un periodo de tiempo seleccionado.

3. RESULTADOS

Se realizaron tres grupos de pruebas: de comunicaciones, detección y de recepción remota. No se presentaron inconvenientes en la comunicación BLE entre los nodos de la red ESP32-CAM y ESP32, ya que el módulo central se instaló a 55 metros del módulo sensor más lejano. Se realizó el primer grupo de pruebas para determinar el alcance de la red. Para esta prueba se ubicó un módulo sensor en distintos puntos de la granja, inclusive más allá de 55 metros.

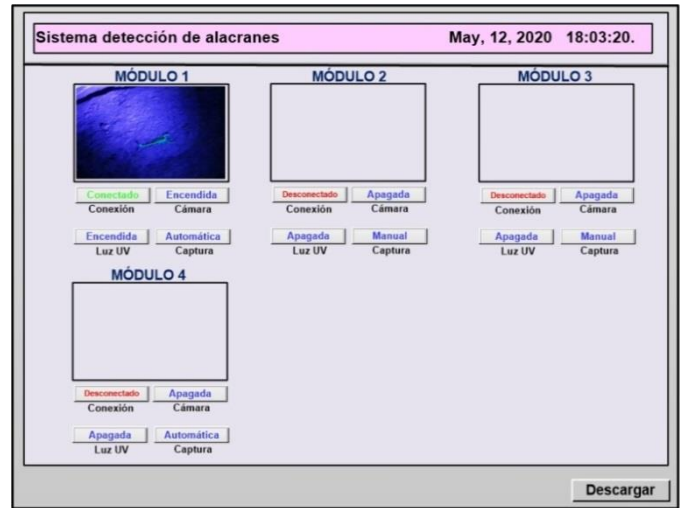


Fig. 4. Interfaz de usuario

Los resultados mostraron que el alcance de la red fue 77 metros con línea de vista. A una distancia mayor a 77 metros el indicador de potencia de la señal recibida (RSSI-Received Signal Strength Indicator) en el módulo central decayó rápidamente hasta perder el enlace cuando el nivel disminuyó a los 80 dBm como se muestra en la gráfica de la Figura 5.

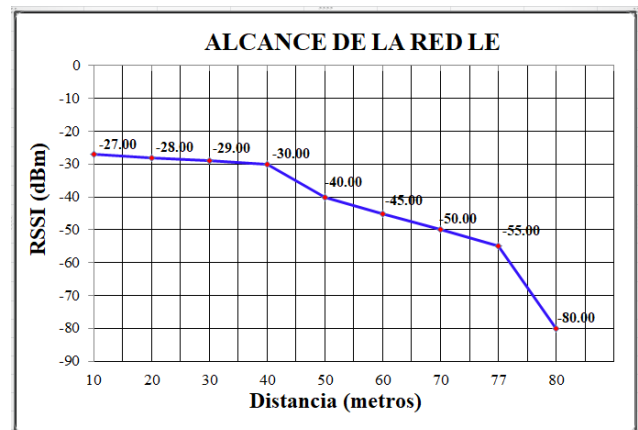


Fig. 5. Alcance de la red BLE

La estructura de los paquetes de prueba, la potencia de salida, las características de modulación y el error de frecuencia de portadora se midieron en el módulo central con un analizador de espectros FPC 1500. El nivel de RSSI se midió usando la herramienta WiFi Analyzer, la cual se ejecutó en una computadora portátil instalada ambos módulos usados en las pruebas.

El segundo grupo de pruebas tuvo como objetivo determinar la regularidad de la detección de alacranes por el sistema. Para llevar a cabo estas pruebas se ubicó un alacrán inerte en

diferentes puntos donde se ubicaron los módulos sensores. Se realizaron desde la interfaz de usuario 15 diferentes capturas de imágenes. En cada una de las 15 pruebas se obtuvo el informe de los cuatro módulos mostrados en la interfaz de usuario y se determinó con éxito la presencia del alacrán. En cada prueba se colocó además un objeto blanco con forma de alacrán falso, de manera que al encender la luz UV la cámara detecte solo la presencia del alacrán real, la detección fue exitosa en un 99%. Los resultados de este grupo de pruebas mostraron también, como se esperaba, que al ubicar el alacrán a una distancia no mayor a 80 cm del módulo, la detección fue más precisa, con un éxito de 100%. El tercer grupo de pruebas tuvo como objetivo verificar el correcto funcionamiento de la conexión del módulo central ESP32-CAM con el punto de acceso vía WiFi de la granja.

4. CONCLUSIONES

El sistema obtenido de detección de alacranes, por medio del fenómeno de fluorescencia, cumple con los requerimientos y características planteadas, La tecnología aplicada para IoT permitió tener un sistema, eficiente, robusto, económico y no intrusivo, ya que los dispositivos son muy pequeños y de muy bajo consumo de potencia, que operan con baterías de larga duración y fácil mantenimiento. Las comunicaciones BLE y WiFi, al ser inalámbricas no requieren que ninguna parte de la construcción sea alterada. Así, se obtuvo un sistema detector de alacranes en una granja a través de una plataforma IoT, el cual reporta periódicamente a un operador remoto, la presencia de estos animales. Cuenta con una interfaz de usuario que muestra en línea la detección del alacrán, llevando a cabo una aplicación que cumple con los requisitos establecidos. Es posible aumentar la cantidad de nodos esclavos, replicar el sistema en otro tipo de instalaciones o adicionar otros medidores o sensores realizando cambios mínimos en la programación de los nodos e interfaz de usuario. En esta aplicación el monitoreo de presencia de alacranes y transmisión de mensajes a la interfaz de usuario se lleva a cabo cada 30 segundos.

5. REFERENCIAS

- [1] É. Morin, M. Maman, R. Guizzetti, "Comparison of the Device Lifetime in Wireless Networks for the Internet of Things", *IEEE Access*, Vol. 5, June 2017, 7097-7114.
- [2] A. M. Aibinu, B. A. Sadiq, E. Joseph, "Development of an intelligent scorpion detection technique using vibration analysis", *International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2014, 1-4.
- [3] K. Y. Lau, G. F. Lutes, "Ultra-stable RF-over-fiber transport enables NASA ground-based deep space tracking antenna arrays and space-borne earth mapping radar", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vol. 29(9), Nov. 2014, 34-41.
- [4] Y. Yin, X. Yu, H. Lv, "Micro-vibration distinguishment between humans and animals based on ensemble empirical mode decomposition using ultra-wide band radar", *The Journal of Engineering*, Vol. 2019(21), Sept. 2019, 7469-7472.
- [5] A. Mammeri, D. Zhou, A. Boukerche, "Animal-Vehicle Collision Mitigation System for Automated Vehicles", *IEEE Transactions on*

- Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, Vol. 46(9), Jan. 2016, 1287-1299.
- [6] A. S. Almansouri, K. N. Salama, J. Kosel, "Magneto-Acoustic Resonator for Aquatic Animal Tracking", *IEEE Transactions on Magnetism*, Vol. 55(2), Aug. 2018, 1-4.
- [7] J. Lu, L. Zhao, K. Chen, "Real-Time FPGA-Based Digital Signal Processing and Correction for a Small Animal PET", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 66(7), March 2019, 1287-1295.
- [8] B. Risse, N. Otto, D. Berh, "FIM2c: Multicolor, Multipurpose Imaging System to Manipulate and Analyze Animal Behavior", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 64(3), May 2016, 610-620.
- [9] B. Kellenberger, D. Marcos, S. Lobry, "Half a Percent of Labels is Enough: Efficient Animal Detection in UAV Imagery Using Deep CNNs and Active Learning", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 57(12), Aug. 2019, 9524-9533.
- [10] S. U. Sharma, D. J. Shah, "A Practical Animal Detection and Collision Avoidance System Using Computer Vision Technique", *IEEE Access*, Vol. 5, Feb. 2017, 347-358.
- [11] J. Xia, L. V. Wang, "Small-Animal Whole-Body Photoacoustic Tomography: A Review", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 61(5), Sept. 2014, 1380-1389.
- [12] Z. Zhang, Z. He, G. Cao, "Animal Detection From Highly Cluttered Natural Scenes Using Spatiotemporal Object Region Proposals and Patch Verification", *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 18(10), July 2016, 2079-2092.
- [13] R. Vera-Amaro, M. E. Rivero, A. Luviano-Juarez, "Design and Analysis of Wireless Sensor Networks for Animal Tracking in Large Monitoring Polar Regions Using Phase-Type Distributions and Single Sensor Model", *IEEE Access*, Vol. 7, April 2019, 45911-45929.
- [14] K. E. Jeon, J. She, P. Soonsawad, "BLE Beacons for Internet of Things Applications: Survey, Challenges, and Opportunities", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 5(2), Jan. 2018, 811-828.
- [15] S. R. Hussain, S. Mehnaz, S. Nirjon, "Secure Seamless Bluetooth Low Energy Connection Migration for Unmodified IoT Devices", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 17(4), Aug. 2017, 927-944.
- [16] B. Luo, F. Xiang, Z. Sun, "BLE Neighbor Discovery Parameter Configuration for IoT Applications", *IEEE Access*, Vol. 7, May 2019, 54097-54105.
- [17] A. Hernández-Solana, D. Pérez-Díaz-De-Cerio, M. García-Lozano, "Bluetooth Mesh Analysis, Issues, and Challenges", *IEEE Access*, Vol. 8, March 2020, 53784-53800.
- [18] S. C. Cha, J. F. Chen, C. Su, "A Blockchain Connected Gateway for BLE-Based Devices in the Internet of Things", *IEEE Access*, Vol. 6, Jan. 2018, 24639-24649.
- [19] H. Ozkan, O. Ozhan, Y. Karadana, "A Portable Wearable Tele-ECG Monitoring System", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 69(1), March 2019, 173-182.
- [20] R. Y. Chan, E. Sato-Shimokawara, X. Bai, "A Context-Aware Augmentative and Alternative Communication System for School Children With Intellectual Disabilities", *IEEE Systems Journal*, Vol. 14(1), May 2019, 208-219.
- [21] T. Wu, F. Wu, C. Qiu, "A Rigid-Flex Wearable Health Monitoring Sensor Patch for IoT-Connected Healthcare Applications", *IEEE Internet of Things Journal*, Early Access Article, Feb. 2020, 1-1.
- [22] P. Spachos, I. Papapanagiotou, K. N. Plataniotis, "Microlocation for Smart Buildings in the Era of the Internet of Things: A Survey of Technologies, Techniques, and Approaches", *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 35(5), Sept. 2018, 140-152.
- [23] P. Spachos, K. Plataniotis, "BLE Beacons in the Smart City: Applications, Challenges, and Research Opportunities", *IEEE Internet of Things Magazine*, Vol. 3(1), April 2020, 14-18.
- [24] S. Alletto, R. Cucchiara, G. Del Fiore, "An Indoor Location-Aware System for an IoT-Based Smart Museum", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 3(2), Dec. 2015, 244-253.
- [25] L. Domingos-Possani, "El alacrán y su piquete", *Dirección General de Divulgación de la Ciencia-UNAM*, disponible en: http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/libro_alacran.pdf, 2005.