

Sistema distribuido de sensores de bajo consumo para monitorear variables ambientales en espacios interiores

Distributed system of low consumption sensors to monitor environmental variables in indoor spaces

Oliver Palacios, Ángel Plaza, Katty Lino

Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador, 090112

Autor de correspondencia: katty.linoc@ug.edu.ec

Vol. 01, Issue 01 (2022): July

DOI: 10.53591/easi.v1i1.1766

Submitted: April 29, 2022

Published: July 14, 2022

Engineering and Applied Sciences in Industry

University of Guayaquil. Ecuador

Frequency/Year: 2

Web:

<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/easi>

Email:

easi-publication.industrial@ug.edu.ec

How to cite this article:

Palacios, A., Plaza, A. & Lino, K. (2022). Sistema distribuido de sensores de bajo consumo para monitorear variables ambientales en espacios interiores. *EASI: Engineering and Applied Sciences*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.53591/easi.v1i1.1766>

Articles in journal repositories are freely open in digital form. Authors can reproduce and distribute the work in any non-commercial site and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a CC BY-NC-ND 4.0

Resumen. En la actualidad, los estudios de las condiciones de aire en ambientes internos son asuntos de gran importancia, debido a que la mayoría de las personas permanecen durante el día en lugares cerrados, tales como edificios, casas, aulas, oficinas, etc. Este artículo describe el desarrollo de un prototipo de una red distribuida de sensores medio ambientales, los cuales se encargan de medir las variables ambientales de humedad y temperatura, con sensores eficientes, de bajo costo y bajo consumo energético. Este sistema permite monitorear tres puntos distintos dentro de un entorno ambiental diferente, ubicados en sitios estratégicos, logrando así obtener una muestra diferente. Los prototipos captan las mediciones de las variables ambientales y las registra en una base de datos contenida en un servidor web para después ser presentada al usuario final; estas mediciones se realizan y visualizan en tiempo real

Palabras claves: red distribuida, sensores medioambientales, humedad, temperatura, base de datos

Abstract. Currently, the analysis of air quality and environmental conditions in indoor environments have been an important subject of study, because people spend most of the day in closed places, such as buildings, houses, classrooms, offices, etc. This article describes the development of a prototype of a distributed network of environmental sensors, which are responsible for measuring the environmental variables of humidity and temperature, with efficient sensors, low cost and low energy consumption. This system allows monitoring three different points within a different environmental setting, located in strategic places, thus obtaining a different sample. The prototypes capture the measurements of the environmental variables and register them in a database contained in a web server to later be presented to the end user. These measurements are made and displayed in real time.

Keywords: distributed network, environmental sensors, humidity, temperature, database

1. INTRODUCCION

En las últimas décadas ha aumentado el interés por la utilización de diferentes tipos de redes de sensores inalámbricos que permiten el seguimiento o la estimación de objetivos, impulsado por su versatilidad y la diversidad de sus aplicaciones, entre las que se incluyen la monitorización medioambiental, la monitorización de hábitats, entre otros (Mao et al., 2019). La disponibilidad a una amplia gama de sensores de distintas características técnicas y costos ha permitido desarrollar propuestas de creación de prototipos de sistemas de sensores interconectados y que obtengan todo tipo de datos (Chan et al., 2021). Otro factor importante es la variedad de opciones para intercomunicar diferentes

componentes electrónicos (Broday et al., 2017) distanciados de forma física, además de la variedad de herramientas, middleware y aplicaciones a disposición de profesionales y estudiantes permiten la creación de recursos complejos para el estudio de la contaminación ambiental (Han et al., 2019).

Las facilidades de acceso a estos recursos en línea ayudan en la implementación y estudio de sistemas distribuidos de sensores que permitan desarrollar un análisis de la realidad ambiental dentro de zonas cerradas y abiertas, lo que ha posibilitado diseñar sistemas inteligentes de control ya sea de ventilación, temperatura, humedad y aire acondicionado que, aprovechando la información proporcionada por los sensores, se pueden recolectar grandes cantidades de datos de estudio, por ello es importante conocer cómo se encuentran diseñados los componentes y factores que interactúan dentro del sistema (Alvi et al., 2022).

En el presente trabajo se muestran criterios importantes, para llevar a cabo el diseño y desarrollo de toda la infraestructura necesaria para implantar una red de sensores medioambientales (Budi et al., 2018; Handayani et al., 2020), y un sistema de información que permita acceder a todos los datos recogidos por los mismos. Con este desarrollo se pretende crear una base funcional de software y hardware sobre la que construir soluciones futuras (Dhall et al., 2021; Perez et al., 2018).

2. METODOLOGÍA

La presente investigación se llevó a cabo en 3 fases. La primera fase consistió en la recolección de información necesaria para llevar a cabo la ejecución del trabajo. Entre las variables genéricas que el prototipo necesita para realizar la recolección de los datos están: humedad y temperatura, la caracterización de los sensores para el procesamiento de la información, la caracterización de los módulos de comunicación, la descripción de los escenarios y protocolos de comunicación (Alvi et al., 2022).

En la segunda Fase, se realizó la adquisición de datos, la construcción de diagramas de flujo para el funcionamiento del prototipo, además en esta fase se realizó la integración de los sensores con la placa base de adquisición y el análisis del consumo energético del prototipo (Guo & Yu, 2022).

La última fase se enfocó en el proceso de la transmisión y recepción de la información recolectada por el prototipo, la visualización y la validación de los datos en el servidor web (Liao & Cheng, 2023).

2.1. Materiales

En la Tabla 1 se lista los materiales con sus características adecuadas para el desarrollo del prototipo, se pretende en todo momento mantener la propuesta de bajo costo en la selección de los componentes

Tabla 1. Materiales y sus características

Materiales	Características
Arduino UNO	Código abierto (hardware y software libres), flexibilidad y versatilidad, compatibilidad con los sistemas operativos: Windows, MAC y Linux, lenguaje de programación de fácil comprensión, basado en el popular C++, bajo precio, reusabilidad. El mismo hardware puede emplearse una y otra vez
Sensor DHT11	Voltaje de Operación: 3V – 5.5V DC, Rango de medición de temperatura: 050°C, Resolución Temperatura: 1°C/8 bits, Rango de medición de humedad: De 20 a 90% RH, resolución humedad: 1%RH/8 bits
Módulo WIFI ESP8266	Voltaje de alimentación: 3.3V DC, voltaje de E/S: 3.3V DC, CPU: RISC (32 bit), memoria flash ext.: 4MB, pines digitales GPIO: 4, IEEE: 802.11 b/g/n WIFI, Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP, stack de protocolo TCP/IP integrado.
Jumpers	Jumpers macho/macho, jumpers macho/hembra. Se usarán para conectar los diferentes pines del microcontrolador y módulos.
Servidor Web	Tamaño del disco: 1GB banda ancha: 5GB, tamaño del disco MySQL: 5GB, arquitectura: 64 bits, S.O.: Linux
Resistencia de 4.5KΩ	Resistencia de PULL UP conectada a positivo del sensor DHT22

Fuente: (Jumaah et al., 2021; Qutieshat et al., 2019)

2.2 Diseño del Prototipo

Para la realización del diseño del prototipo final es importante conocer como fluirรก la informaci3n entre cada uno de sus componentes. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo de trabajo desde el punto de vista de un usuario del sistema (Rajasekaran et al., 2022).

- Obtener: Se refiere a la solicitud generada por parte de un usuario al sistema distribuido.
- Seleccionar: Hace referencia al proceso interno del sistema distribuido para solicitar y recopilar los datos.
- Insertar: Representa al proceso interno para recibir y unificar los datos obtenidos en la red.
- Enviar: Recopilaci3n de datos generados por cada sensor en forma continua.
- Respuesta: Incluye los procesos para la presentaci3n de los datos procesados

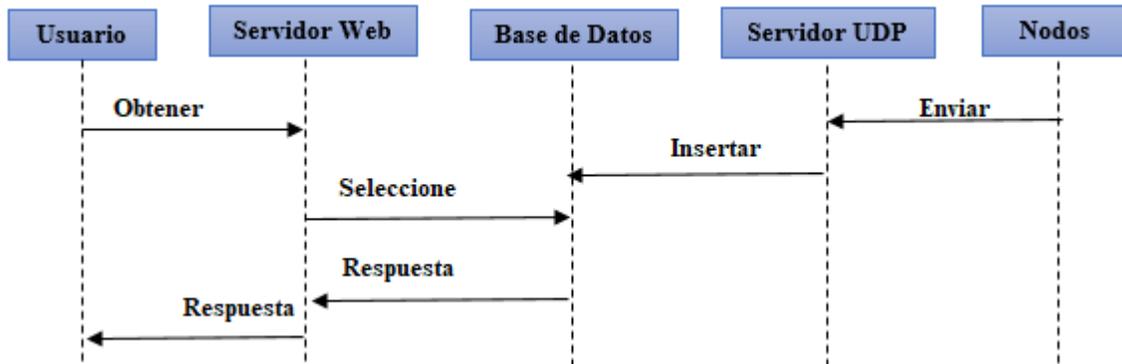


Figura 1. Flujo de informaci3n en el sistema. (Fuente: los autores)

Para realizar el dise1o del prototipo se utiliz3 la herramienta *Fritzing*, la misma que permite elaborar dise1os de prototipos que pueden pasar a productos finales. La Figura 2 muestra el dise1o del prototipo en modo de ejecuci3n.

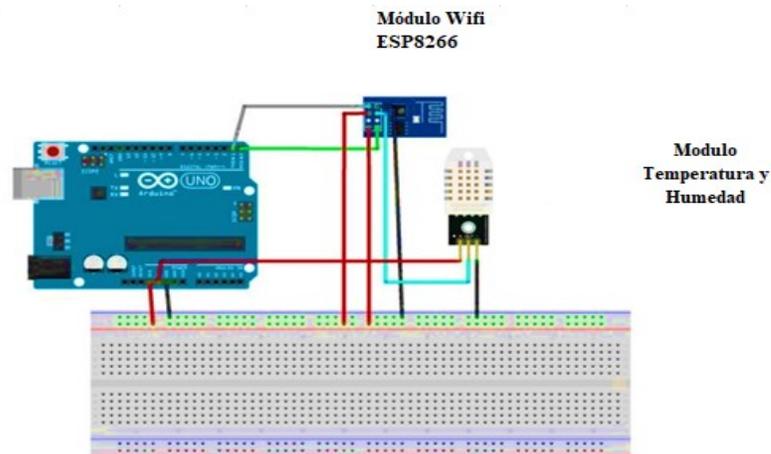


Figura 2. Dise1o Final del prototipo en modo ejecuci3n (Xu et al., 2023)

2.3 Construcci3n del Prototipo

Una vez dise1ado y entendido como se manejarรก el flujo de la informaci3n, se debe continuar con la construcci3n del prototipo, para lo cual se debe realizar los siguientes pasos:

- Para poder manejar el m3dulo WiFi ESP8266-v1, es necesario contar con un convertidor USB a TTL para poder programarlo, este m3dulo solo debe ir conectado a los 3.3 voltios (Ooi et al., 2022).
- Para poder realizar las conexiones con el Arduino uno y el ESP8266-v1 es necesario retirar el chip ATmega del microcontrolador, y realizar las conexiones en modo programador entre estos, usando el Arduino como un puente (Zheng et al., 2022).

- Se procede a conectar el pin de datos del módulo sensor de humedad y temperatura DHT11 al pin GPIO2 del módulo ESP8266-v1y conectado a los 5 voltios.
- Una vez realizado el procedimiento mencionado es necesario cargar el código siempre y cuando se encuentre conectado en modo programador.
- Cuando el código esté subido, es necesario desconectar el jumper del pin GPIO0 del módulo ESP8266-V1, y luego proceder a reiniciar (Ceja et al., 2017). Posteriormente se conecta el positivo de su alimentación.
- Como muestra la Figura 3, cuando se vuelva a iniciar la placa y el módulo WiFi detecta la red se puede apreciar en el monitor serie que se encuentra estableciendo la conexión con el host.
- El mismo proceso se realizar para la construcción de los tres prototipos, los cuales se muestran en la Figura 4.

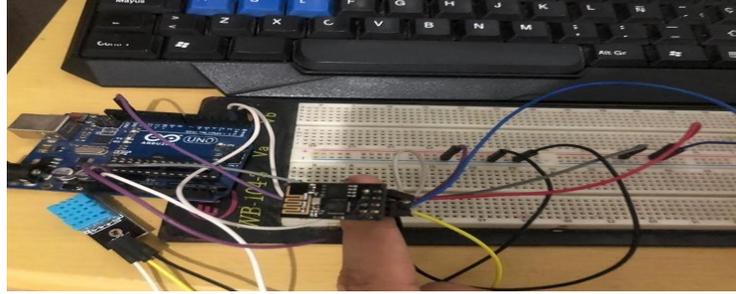


Figura 3. Conexión de módulo WiFi y Sensor DHT11 (Merlo et al., 2022)

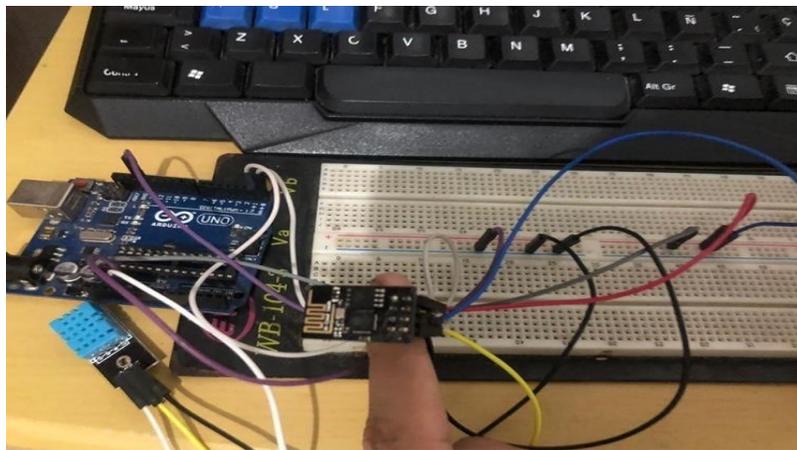


Figura 4. Prototipos armados para diferentes ubicaciones (Rahman et al., 2022)

2.4 Datos por monitorear

- **Temperatura:** La temperatura es una magnitud proporcional a la rapidez del movimiento de partículas que constituyen la materia. A mayor agitación de las partículas, mayor será la temperatura, se debe tener en cuenta que la temperatura del aire varía dependiendo si es de día o de noche, también varía por estaciones y ubicación geográfica (Afzal et al., 2022). El censado de temperatura mediante el sensor DHT11, no necesita acondicionamiento externo por lo tanto la utilización y obtención de la información se realiza de forma rápida y sencilla, pero no está de más mencionar que el rango de censado para temperatura no debe exceder de 40°.
- **Humedad:** La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, esta cantidad es variable porque depende de diversos factores. La humedad del suelo es la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno, se presenta en porcentaje para obtener la humedad, comúnmente se utiliza la siguiente fórmula (Liu & Xu, 2021).

$$h = \frac{e}{E} \times 100 \quad (1)$$

donde:

- h: es la humedad relativa en %
 - e: Representa el contenido de vapor de la masa del aire
 - E: Es la presión de vapor saturación
- Fecha y Hora: Al usar un servidor web alojado en New York – USA, la hora proyectada no debe la que genera la web del hosting, por lo que se configura para que presente la zona horaria del módulo Wifi ESP8266.
 - Puerto: El servidor obtendrá la salida del puerto 80 que previamente tuvo que ser liberado en la configuración del router.

2.5 Proceso de manejo de datos

Procesamiento y recolección de datos por el sensor DHT11

Los datos que se recolectan por el sensor de humedad y temperatura DHT11 se muestran mediante una señal digital en el pin de datos, es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3 – 5V, el pin de GND a tierra y el pin de datos a un pin digital en el Arduino.

Los sensores vienen calibrados de fábrica para obtener unos coeficientes de calibración grabados en su memoria OTP, asegurando una alta disponibilidad a lo largo del tiempo. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador se da a través de un único hilo (protocolo 1-wire), por lo tanto, la integración del es rápida y sencilla.

Transmisión, recepción, visualización y validación de la información

Para llevar a cabo el proceso de transmisión de la información recolectada por el prototipo, una vez que se ha realizado el censo de la temperatura y humedad en los diferentes sitios, esta información se envía por medio del módulo WiFi ESP8266 hacia el *Router* y este a su vez lo envía a un URL que en este caso es el host (Yu et al., 2022). Al momento de que la información recolectada llega al host se almacena en una base de datos, que contiene dicho repositorio.

El host también cuenta con una página web y funciones que permiten editar la interfaz de la página instalando *plugins* de tablas que hacen el llamado de información a la base de datos que está contenida con la información dentro del host y de esta forma se logra presentarlos en una interfaz gráfica.

Para mantener la disponibilidad y rendimiento del servidor web se usa el servicio de host de *Webitech* y se utiliza el servicio de domino gratuito que provee la empresa Freenom. El nombre del dominio para presentar los datos recolectados de dicho proyecto es “**proyectosensores.ml**” donde se pueden observar los resultados del sistema distribuido.

Para lograr una mayor precisión en la recolección de información del prototipo se estableció que para cada variable obtenida se presenten los valores simultáneos de 10 minutos. En la Tabla 2 se muestran algunas características importantes del hosting seleccionado.

Tabla 2. Características del Host (Yu et al., 2022)

Artículo	Detalle
Tamaño de Disco	1 GB
Memoria	512 MB
Ancho de Banda	5 GB
Arquitectura	64 bits
Sistema Operativo	Linux
Versión MySQL	10.2.39.MariaDB.rll.lve
Versión PHP	7.4.22

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo se desarrolló un prototipo de una red distribuida de sensores medioambientales de bajo consumo energético y costo, que permiten medir variables de temperatura y humedad (Khan et al., 2020). Como fase previa al desarrollo del proyecto, se probaron diferentes componentes y algunas propuestas de prototipos, se determinó tres puntos específicos para el proceso de recopilación de datos de temperatura y humedad.

Se cumplió con lo planificado en las tres fases que se dividió el desarrollo del proyecto, la presentación de los datos obtenidos en cada uno de los tres puntos de control se muestra en la Figura 5, se puede observar gráficamente el resultado de las variaciones de temperatura y humedad (Yang et al., 2020).



Figura 5. Ubicaciones de los sensores.

3.1. Presentación de resultados finales: Datos estadísticos y gráficos

Como resultado de estas mediciones se comprobó que el prototipo funciona de manera correcta y estable. En las siguientes imágenes se mostrarán detalles de los datos recopilados en cada punto de estudio.

En la Tabla 3, se muestra la información recopilada por medio del grupo de sensores 4 ubicado en el Guasmo Sur, se muestra el rango de valores de la humedad y la temperatura en esa zona.

Tabla 3. Resultados del sensor 4 ubicado en el Guasmo Sur

Temperatura (°C)	Humedad (g / m ³)	Fecha actual
30	62	28/08/2021, 18:41
30	62	28/08/2021, 18:40
30	62	28/08/2021, 18:39
30	62	28/08/2021, 18:38
30	62	28/08/2021, 18:37
30	62	28/08/2021, 18:36
30	63	28/08/2021, 18:35
30	63	28/08/2021, 18:34
30	63	28/08/2021, 18:33
30	63	28/08/2021, 18:32

(Panja & Roy, 2021)

En las Tablas 4 y 5, se muestra la información recopilada por medio del grupo de sensores 5 y 6 ubicados en Fertisa y el Fortín.

Tabla 4. Resultados del sensor 5 ubicado en Fertisa

Temperatura (°C)	Humedad (g / m ³)	Fecha actual
30	62	28/08/2021, 18:37
30	62	28/08/2021, 18:36
30	63	28/08/2021, 18:34
30	63	28/08/2021, 18:33
30	62	28/08/2021, 18:32
30	62	28/08/2021, 18:31
30	63	28/08/2021, 18:30
30	63	28/08/2021, 18:29
30	63	28/08/2021, 18:33
30	63	28/08/2021, 18:28

Fuente: los autores

Tabla 5. Resultados del sensor 6 ubicado en Fortin

Temperatura (°C)	Humedad (g / m ³)	Fecha actual
30	62	28/08/2021, 18:49
30	62	28/08/2021, 18:48
30	63	28/08/2021, 18:47
30	63	28/08/2021, 18:46
30	62	28/08/2021, 18:45
30	62	28/08/2021, 18:44
30	63	28/08/2021, 18:43
30	63	28/08/2021, 18:42
30	63	28/08/2021, 18:41
30	63	28/08/2021, 18:40

Fuente: los autores

CONCLUSIONES

Al llevar a cabo el desarrollo de un prototipo de red de distribución de sensores medioambientales de bajo costo y consumo para entornos internos se determinó que es un método viable para obtener mediciones en tiempo real de la temperatura y humedad de varios sectores desde cualquier sitio en el que se cuente con el internet y se pueda acceder a la página en la que se muestran los datos recolectados (Mookherji et al., 2022).

Como se puede apreciar en las imágenes de los resultados obtenidos, las variaciones en los valores recopilados son poco significativas, ya que todas se realizaron en la misma ciudad, aunque en puntos estratégicamente separados. Por limitación del tiempo del desarrollo del proyecto no se realizó el estudio en otra fecha en que la temperatura y humedad sean diferentes.

Como propuesta en futuros proyectos se pretende realizar el estudio en diferentes ciudades y en épocas del año que permitan recopilar valores más diversos, además de incluir un estudio comparativo de diferentes sensores.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés potencial dentro de esta investigación, autoría y/o publicación de este artículo

REFERENCES

- Afzal, M., Li, J., Amin, W., Huang, Q., Umer, K., Ahmad, S. A., Ahmad, F., & Raza, A. (2022). Role of blockchain technology in transactive energy market: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102646. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102646>
- Alvi, S. T., Uddin, M. N., Islam, L., & Ahamed, S. (2022). DVTChain: A blockchain-based decentralized mechanism to ensure the security of digital voting system voting system. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.06.014>
- Broday, D. M., Arpaci, A., Bartonova, A., Castell-Balaguer, N., Cole-Hunter, T., Dauge, F. R., Fishbain, B., Jones, R. L., Galea, K., Jovasevic-Stojanovic, M., Kocman, D., Martinez-Iñiguez, T., Nieuwenhuijsen, M., Robinson, J., Svecova, V., & Thai, P. (2017). Wireless distributed environmental sensor networks for air pollution measurement-the promise and the current reality. *Sensors (Switzerland)*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/s17102263>
- Budi, S., Susanto, F., de Souza, P., Timms, G., Malhotra, V., & Turner, P. (2018). In search for a robust design of environmental sensor networks. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 39(6). <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1310303>
- Chan, K., Schillereff, D. N., Baas, A. C. W., Chadwick, M. A., Main, B., Mulligan, M., O'Shea, F. T., Pearce, R., Smith, T. E. L., van Soesbergen, A., Tebbs, E., & Thompson, J. (2021). Low-cost electronic sensors for environmental research: Pitfalls and opportunities. *Progress in Physical Geography*, 45(3). <https://doi.org/10.1177/0309133320956567>
- Dhall, S., Mehta, B. R., Tyagi, A. K., & Sood, K. (2021). A review on environmental gas sensors: Materials and technologies. In *Sensors International* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100116>
- Guo, H., & Yu, X. (2022). A survey on blockchain technology and its security. *Blockchain: Research and Applications*, 3(2). <https://doi.org/10.1016/j.bcr.2022.100067>
- Han, Q., Liu, P., Zhang, H., & Cai, Z. (2019). A Wireless Sensor Network for Monitoring Environmental Quality in the Manufacturing Industry. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2920838>
- Handayani, A. S., Husni, N. L., Nurmaini, S., & Permatasari, R. (2020). Environmental Application with Multi Sensor Network. *Computer Engineering and Applications*, 9(1).
- Jumaah, H. J., Kalantar, B., Mansor, S., Halin, A. A., Ueda, N., & Jumaah, S. J. (2021). Development of UAV-based PM2.5 monitoring system. *Drones*, 5(3). <https://doi.org/10.3390/drones5030060>
- Khan, K. M., Arshad, J., & Khan, M. M. (2020). Simulation of transaction malleability attack for blockchain-based e-Voting. *Computers and Electrical Engineering*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106583>
- Liao, Z., & Cheng, S. (2023). RVC: A reputation and voting based blockchain consensus mechanism for edge computing-enabled IoT systems. *Journal of Network and Computer Applications*, 209, 103510. <https://doi.org/10.1016/J.JNCA.2022.103510>
- Liu, Y., & Xu, G. (2021). Fixed degree of decentralization DPoS consensus mechanism in blockchain based on adjacency vote and the average fuzziness of vague value. *Computer Networks*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108432>
- Mao, F., Khamis, K., Krause, S., Clark, J., & Hannah, D. M. (2019). Low-Cost Environmental Sensor Networks: Recent Advances and Future Directions. In *Frontiers in Earth Science* (Vol. 7). <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00221>
- Merlo, V., Pio, G., Giusto, F., & Bilancia, M. (2022). On the exploitation of the blockchain technology in the healthcare sector: A systematic review. *Expert Systems with Applications*, 118897. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118897>
- Mookherji, S., Vanga, O., & Prasath, R. (2022). Blockchain-based e-voting protocols. *Blockchain Technology for Emerging Applications: A Comprehensive Approach*, 239–266. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90193-2.00006-5>
- Ooi, V., Kian Peng, S., & Soh, J. (2022). Blockchain land transfers: Technology, promises, and perils. *Computer Law and Security Review*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2022.105672>
- Panja, S., & Roy, B. (2021). A secure end-to-end verifiable e-voting system using blockchain and cloud server. *Journal of Information Security and Applications*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2021.102815>
- Perez, A. O., Bierer, B., Scholz, L., Wöllenstein, J., & Palzer, S. (2018). A wireless gas sensor network to monitor indoor environmental quality in schools. *Sensors (Switzerland)*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/s18124345>
- Qutieshat, A., Aouididi, R., & Arfaoui, R. (2019). Design and Construction of a Low-Cost Arduino-Based pH Sensor for the Visually Impaired Using Universal pH Paper. *Journal of Chemical Education*, 96(10). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00450>

- Rahman, M. S., Chamikara, M. A. P., Khalil, I., & Bouras, A. (2022). Blockchain-of-blockchains: An interoperable blockchain platform for ensuring IoT data integrity in smart city. *Journal of Industrial Information Integration*, 30, 100408. <https://doi.org/10.1016/J.JII.2022.100408>
- Rajasekaran, A. S., Azees, M., & Al-Turjman, F. (2022). A comprehensive survey on blockchain technology. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102039>
- Verma, M. (2017a). International journal of engineering sciences & research technology working, operation and types of arduino microcontroller. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology Working*, 6(6).
- Verma, M. (2017b). Working, Operation and Types of Arduino Microcontroller. © *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 6(6).
- Xu, Y., Tao, X., Das, M., Kwok, H. H. L., Liu, H., Wang, G., & Cheng, J. C. P. (2023). Suitability analysis of consensus protocols for blockchain-based applications in the construction industry. *Automation in Construction*, 145, 104638. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2022.104638>
- Yang, X., Yi, X., Nepal, S., Kelarev, A., & Han, F. (2020). Blockchain voting: Publicly verifiable online voting protocol without trusted tallying authorities. *Future Generation Computer Systems*, 112, 859–874. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.06.051>
- Yu, F., Lin, H., Wang, X., Yassine, A., & Hossain, M. S. (2022). Blockchain-empowered secure federated learning system: Architecture and applications. *Computer Communications*. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.09.008>
- Zheng, K., Zheng, L. J., Gauthier, J., Zhou, L., Xu, Y., Behl, A., & Zhang, J. Z. (2022). Blockchain technology for enterprise credit information sharing in supply chain finance. *Journal of Innovation and Knowledge*, 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100256>