

CAPTURA DE VARIABLES PARA ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES Y SU ALMACENAMIENTO PARA INTEGRACIÓN A SISTEMAS DE PREDICCIÓN MEDIANTE UTILIZACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES

Rodrigo Atilio Elgueta^{1,2}, Miguel Mendez-Garabetti^{1,2}

¹Universidad de Mendoza, Dirección de Posgrado, Facultad de Ingeniería
rodrigo.elgueta@um.edu.ar, miguel.mendez@um.edu.ar

²Free and Open Source Software/Hardware Research Laboratory (FOSSHLab), Argentina.

RESUMEN

Los incendios forestales, generan grandes pérdidas y daños alrededor del mundo generando un impacto negativo significativo en el medio ambiente, la economía y la sociedad. La utilización de redes inalámbricas de sensores (WSN), permite recopilar datos en tiempo real sobre las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, la dirección del viento, la concentración de gases peligrosos, etc. Estos se utilizan para enviar alertas en tiempo real a los sistemas de gestión de emergencias en caso de detección de niveles anormales de humo, calor o gases peligrosos, y permiten tomar acciones de contención más efectivas y planear medidas preventivas para contener el incendio forestal antes de que se propague a áreas más grandes. Además, se pueden utilizar para alimentar modelos de predicción de incendios, lo que mejora la precisión y la eficacia de estos modelos, proporcionando datos certeros respecto a las variables obtenidas en la medición. Esto puede mejorar la capacidad de los sistemas de predicción de incendios forestales y también puede ayudar en la gestión de emergencias en tiempo real para contener y extinguir el incendio de manera más efectiva.

Palabras clave: Red Inalámbrica de Sensores, Teledetección de Incendios

CONTEXTO

El presente trabajo de I+D se desarrolla como proyecto de Investigación de tesis de posgrado presentado y aprobado en la Maestría en Teleinformática, Dirección de Posgrado, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mendoza, (Ciudad, Mendoza).

INTRODUCCIÓN

El Servicio Nacional de Manejo del Fuego del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina, define a incendio forestal como un fuego que se propaga libremente con efecto no deseado para la vegetación y sin estar sujeto a control humano. Cuando afecta zonas no boscosas ni aptas para la forestación, se incluye el término incendio rural. [1]. Generalmente, es producido por descuidos humanos, o de forma ocasional, producido naturalmente. Si encuentra condiciones apropiadas para su expansión, puede recorrer extensas superficies causando importantes pérdidas ecológicas, económicas y sociales. [2] Este fuego es la reacción rápida producto de la unión del oxígeno del aire, la cobertura vegetal como combustible y una fuente de calor. El mismo transita cinco etapas: Fuera de control, cuando se propaga libremente. Detenido, o contenido cuando la propagación se ha detenido en uno o más sectores del incendio. Circunscripto cuando la contención abarca todo el perímetro pero no está

definitivamente terminado. Controlado cuando existe una línea de control establecida definitivamente, anclada y asegurada. Extinguido cuando el incendio no muestra signos de actividad en ninguna de sus partes [3].

Durante años se ha trabajado en el desarrollo de diferentes herramientas para la prevención, cuyo objetivo es lograr que los incendios no alcancen a materializarse, la detección, a fin determinar la ubicación de los focos de incendio antes de que se pierda el control sobre ellos y la predicción de incendios forestales. Cada una de éstas corresponde a distintas fases del proceso de lucha contra incendios. [4] [5] [6] [7]

Los métodos de predicción son técnicas utilizadas para predecir eventos futuros basados en datos históricos y patrones previamente identificados. En el caso de los incendios forestales, los métodos de predicción se utilizan para identificar áreas de riesgo y anticiparse a posibles incendios. En este sentido, tiene dos acepciones: predicción de incendios forestales y predicción del comportamiento de incendios forestales. La primera de ellas intenta predecir la ocurrencia de incendios antes de que estos sucedan, mientras que la segunda, busca determinar el posible comportamiento de un incendio forestal una vez que éste ya se ha iniciado, permitiendo tomar decisiones acertadas en el plan de acción a tomar [8].

Los métodos de predicción utilizados en incendios forestales incluyen: Métodos estadísticos, basados en el análisis de datos históricos de incendios forestales, identificación de patrones y tendencias. utilizados para predecir la probabilidad de que ocurra un incendio forestal en un área determinada. Basados en modelos físicos que se estructuran en la comprensión de los procesos físicos involucrados en la combustión y en la propagación del fuego utilizando

modelos matemáticos para simular el comportamiento del fuego y predecir su propagación. Basados en tecnología de sensores remotos que utilizan tecnología de sensores remotos para obtener datos sobre las condiciones ambientales en áreas forestales que se utilizan para predecir la probabilidad de que ocurra un incendio forestal. Basados en sistemas de información geográfica (SIG) que utilizan datos geográficos y de manejo forestal para identificar áreas de riesgo de incendios forestales.

Las implementaciones computacionales de dichos modelos suelen realizarse con simuladores de comportamiento de incendios. Debido al tamaño del conjunto de datos y la complejidad de las operaciones que deben efectuarse, puede requerirse la utilización de sistemas de alto rendimiento y procesamiento paralelo (HPC, High performance Computing) para resolver el problema en el menor tiempo posible [9].

Las redes inalámbricas de sensores, además de utilizarse como sistema de detección de incendios en tiempo real, permiten el almacenamiento de valores medidos a fin complementarse con los sistemas de predicción integrando variables reales a los mismos con fin de reducir la brecha de incertidumbre del modelo y evitar cálculos en base a estimaciones indirectas.

Las Redes Inalámbricas de Sensores (WSN, Wireless Sensor Networks) consisten en sensores conectados a nodos que utilizan canales de radio para comunicarse y transmitir datos. Dichos Nodos, son capaces de obtener datos de su entorno, procesarlos localmente, y comunicarlos a través de enlaces inalámbricos. Cada nodo actúa como elemento de la infraestructura de comunicaciones al reenviar los mensajes transmitidos por nodos más lejanos hacia un centro de recolección de información. [10].

El presente trabajo desarrolla un proyecto de utilización de una WSN con componentes de bajo costo para la recolección de datos necesarios para detección de incendios forestales a fin de generar alertas tempranas de ocurrencia de incendios así como el almacenamiento de dichos valores para permitir su utilización por modelos de predicción.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Identificación y selección de elementos a monitorear

Para establecer los elementos a monitorear, es necesario realizar previamente un estudio de la zona que se desea monitorear ya que, tanto la detección de incendios como los datos necesarios para integrar a sistemas de predicción dependen de: Las condiciones meteorológicas: temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, precipitaciones, entre otros. Las características del combustible: tipo, humedad, densidad, altura y continuidad, entre otros. La topografía y características del terreno: pendiente, orientación, elevación, tipo de suelo, vegetación, entre otros. La presencia de fuentes de ignición: actividad humana, rayos, etc. Y del historial de incendios forestales en la zona [11].

Definición de infraestructura general

La infraestructura general planteada en el presente, se puede descomponer en los siguientes elementos: WSN para la adquisición de datos. Una puerta de enlace para conexión y envío de datos a internet. La utilización de servicios específicos para el tratamiento de la información. Particularmente, en el presente se utilizó contenedores para los siguientes servicios: EMQ para la administración de mensajes MQTT. MariaDB como base de

datos para el almacenamiento de variables obtenidas, Python como lenguaje para generar interfaces y adaptación de variables. Se optó por la utilización de contenedores en función de su adaptabilidad, portabilidad y posibilidad de brindar escalabilidad. En función a que cada sensor enviará datos a la red y los mismos serán almacenados y procesados a fin de obtener información, se puede establecer que los mismos, son parte de la IoT (Internet de las cosas) [12].

Definición de WSN

En el presente trabajo, se realizó un laboratorio para la captura de datos utilizando elementos WiFi convencionales mediante el uso de dispositivos ESP8266. Se utilizó la capacidad del procesador para: Crear una WSN utilizando una topología en malla dinámica, donde los dispositivos se conectan entre sí cambiando las rutas de envío de información según la necesidad o pérdida de alguno de ellos. Procesar los datos recibidos por los sensores directamente conectados como entradas al dispositivo.

Asimismo, como se destacó anteriormente, gran parte del armado de la WSN, dependerá exclusivamente de los sensores a utilizar para la obtención de datos. En general, se requiere monitorear diversas variables relacionadas con el combustible, como la carga de combustible, la densidad aparente, la altura de la capa muerta, la humedad del combustible, la humedad del aire, la velocidad del viento y la pendiente del terreno. Para medir estas variables, se pueden utilizar diversos sensores, como: Humedad del suelo: para medir la humedad del combustible. Humedad relativa: para medir la humedad del aire. Anemómetro: para medir la velocidad del viento. Inclinación: para medir la pendiente del terreno. Temperatura: para medir la temperatura del aire. Monóxido de carbono: para medir la existencia de gases. Para obtener valores

precisos de estas variables, es necesario colocar los sensores en ubicaciones estratégicas, teniendo en cuenta factores como la altura y la distancia a la que se encuentran del material combustible. Asimismo, debido a la extensión de las áreas donde pueden ocurrir incendios forestales, agregar un sensor a cada elemento combustible sería una tarea muy difícil e impráctica debido al gran número de elementos combustibles presentes en un área forestal. En su lugar, se podrían utilizar sensores distribuidos estratégicamente en diferentes puntos de la zona forestal, capaces de proporcionar una imagen global de las condiciones ambientales y de los materiales combustibles presentes. Para ello, si bien en el presente sólo se utilizó elementos WSN basados en WiFi 802.11, sería útil contar con infraestructuras WSN híbridas.

Protocolos y primitivas de conexión

Para la WSN existen diferentes tecnologías, entre ellas las más importantes son: IEEE 802.15.4, ZigBee e IEEE 802.11 b/g/n [13]. Asimismo, para la presente, por motivos de costos, se realizó un laboratorio utilizando componentes con el estándar IEEE 802.11 b/g/n de bajo consumo configurados con una topología en mesh con una lógica jerárquica donde se designan nodos como “cluster-head” con mayor responsabilidad para controlar a otros nodos. Asimismo, como se mencionó con anterioridad, para la WSN sería útil contar con infraestructuras WSN híbridas a fin de obtener mayor alcance para el muestreo.

En cuanto a la transmisión de los datos obtenidos, se utilizó el protocolo MQTT. Éste permite la comunicación de dispositivos de Internet de las cosas (IoT) que generalmente tienen que transmitir y recibir datos a través de una red con recursos restringidos y un ancho de banda limitado. Además, MQTT admite la mensajería entre dispositivos a la nube y la nube al dispositivo [14].

Almacenamiento de datos

Como se mencionó con anterioridad, mediante el almacenamiento de los datos recolectados, se puede obtener estadísticas y variables que pueden ser utilizadas por sistemas de predicción. En este trabajo en particular, se utilizó MariDB su almacenamiento [15]. Asimismo, en este sentido, es necesario contar con una interfaz que reciba los mensajes enviados mediante MQTT e inserte los registros en las tablas correspondientes de la base de datos. Para ello, se utilizó Python como lenguaje de programación [16] y se realizó dicho modelo acorde al laboratorio desarrollado en el presente trabajo.

RESULTADOS OBTENIDOS

El presente proyecto, si bien sólo ha sido probado en laboratorio, posee el potencial para brindar la flexibilidad necesaria que le permita implementarse tanto en equipos de monitoreo estáticos como en aquellos desplegados sobre frentes de incendio. Además, por el uso del protocolo MQTT para el envío de mensajes con los datos recolectados, puede integrarse y formar parte de otras tecnologías y topologías de red. Un ejemplo de ello sería la formación de pequeñas células WSN distribuidas en los extremos de otra red de mayor alcance para la recolección de datos. Respecto a la incorporación de datos a sistemas de predicción, el almacenamiento de datos permite que a partir de los mismos, se realicen conversiones de medidas y se utilicen como entradas de variables en sistemas de predicción de comportamiento de incendios. Por lo tanto, el despliegue del presente proyecto, podría colaborar en gran medida en la generación de alertas de ocurrencia de incendios forestales así como en el planeamiento estratégico de la lucha contra el fuego, generación de estadísticas y facilitaría la incorporación de

datos reales en sistemas de predicción de comportamiento de incendios forestales.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

La línea de I+D presentada está vinculada con el desarrollo de una tesis de posgrado por parte del Ing. Rodrigo Atilio Elgueta, quien es estudiante de la Maestría en Teleinformática de la Universidad de Mendoza y dirigida por el Dr. Miguel Mendez-Garabetti.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «¿Qué es un incendio forestal?», *Argentina.gob.ar*, 15 de marzo de 2018. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/fuegos/conocemas/incendioforestal> (accedido 26 de febrero de 2023).
- [2] J. E. G. Mora, «INCENDIOS FORESTALES: causas e impactos», *El Antoniano*, vol. 135, n.º 1, Art. n.º 1, 2020, doi: 10.51343/anto.v135i1.866.
- [3] «script-tmp-inta_-_manual_de_combate_de_incendios_forestales_y_ma.pdf». Accedido: 26 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_manual_de_combate_de_incendios_forestales_y_ma.pdf
- [4] P. N. Omi, *Forest fires: a reference handbook*. Santa Barbara, Calif: ABC-CLIO, 2005.
- [5] E. A. Johnson y K. Miyanishi, Eds., *Forest fires: behavior and ecological effects*. San Diego, Calif: Academic Press, Inc, 2001.
- [6] J. G. Flores Garnica y D. A. Rodríguez Trejo, *Incendios forestales : definiendo el problema, ecología y manejo, participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación*. México: Mundi-Prensa, 2006.
- [7] J. Lowe, *Wildland firefighting practices*. Africa ; Albany, N.Y: Delmar Thomson Learning, 2001.
- [8] M.-G. Miguel, T. M. Laura, B. Germán, y C.-S. Paola, «Predicción del Comportamiento de Incendios Forestales mediante un Método de Reducción de Incertidumbre basado en HPC y Evolución Diferencial», 2014.
- [9] J. Strappa, P. Caymes-Scutari, y G. Bianchini, «A Parallel Novelty Search Metaheuristic Applied to a Wildfire Prediction System». arXiv, 23 de julio de 2022. Accedido: 26 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/2207.11646>
- [10] R. Azzam, T. M. Fernández-Steeger, C. Arnhardt, H. Klapperich, y K.-J. Shou, *Monitoring of landslides and infrastructures with wireless sensor networks in an earthquake environment*. Santiago, 2011.
- [11] D. Saha, B. K. Shaw, S. Bose, y S. Paik, «WSN based Forest Fire Detection System», *Adv. J. Eng.*, pp. 12-17, 2022, doi: 10.55571/aje.2022.04013.
- [12] J. S. Rueda y J. M. Talavera Portocarrero, «Similitudes y diferencias entre Redes de Sensores Inalámbricas e Internet de las Cosas: Hacia una postura clarificadora», *Rev. Colomb. Comput.*, vol. 18, n.º 2, pp. 58-74, dic. 2017, doi: 10.29375/25392115.3218.
- [13] J. Garbarino, *Protocolos para redes inalámbricas de sensores : conciencia de energía y técnicas de diseminación en protocolos de red para redes inalámbricas de sensores / Jimena Garbarino*. Alemania: Editorial Académica Española, 2012.
- [14] «MQTT - The Standard for IoT Messaging». <https://mqtt.org/> (accedido 26 de febrero de 2023).
- [15] «MariaDB Foundation - MariaDB.org». <https://mariadb.org/> (accedido 26 de febrero de 2023).
- [16] «Welcome to Python.org», *Python.org*, 15 de febrero de 2023. <https://www.python.org/> (accedido 26 de febrero de 2023).