

Formulaciones de programación entera para el problema de colocación de sensores en redes LoRaWAN

Jessica Singer¹, Javier Marengo², and Paula Zabala¹

¹ Departamento de Computación, FCEyN, Universidad de Buenos Aires, Argentina
{jdsinger, pzabala}@dc.uba.ar

² Escuela de Negocios, Universidad Torcuato Di Tella, Argentina
javier.marengo@utdt.edu

Abstract. LoRaWAN es un protocolo basado en la modulación LoRa que permite comunicación a larga distancia con bajo consumo energético, ideal para zonas con conectividad limitada. Su aplicación en la detección temprana de incendios forestales permite que sensores transmitan datos a través de gateways. En este trabajo estudiamos el problema de determinar la colocación óptima de sensores, motivados por el despliegue de sensores de incendios. Presentamos distintos modelos de programación lineal entera para maximizar la cobertura de puntos de interés y analizamos su performance en la práctica.

Keywords: LoRaWAN, programación entera

Integer programming formulations for sensors placement in LoRaWAN networks

Abstract. LoRaWAN is a protocol based on LoRa modulation that enables long-range communication with low energy consumption, making it ideal for areas with limited connectivity. Its application in early wildfire detection allows sensors to transmit data through gateways. In this work, we study the problem of determining the optimal placement of sensors, motivated by the deployment of wildfire detection systems. We present several integer linear programming models to maximize the coverage of points of interest and analyze their practical performance.

Keywords: LoRaWAN, integer programming

LoRaWAN es un protocolo de red basado en LoRa (Alliance, 2017; Sundaram et al., 2019), una técnica de modulación inalámbrica derivada de la tecnología

de espectro ensanchado por chirp (CSS) que permite la comunicación a grandes distancias con un bajo consumo energético. Esto resulta especialmente útil en zonas con conectividad a internet limitada, donde es necesario desplegar redes extensas de sensores (Adelantado et al., 2017).

Una de sus aplicaciones más prometedoras es la detección temprana de incendios en áreas naturales. Sensores terrestres equipados con esta tecnología pueden enviar datos a través de una red LoRaWAN, facilitando la detección y alerta ante incendios. Estas redes han cobrado gran relevancia con el auge de las soluciones basadas en Internet of Things (Lima et al., 2021; Micheletto et al., 2023).

En una red LoRaWAN, los *end devices* serán responsables de enviar datos a los *gateways*. Estos a su vez actúan como intermediarios, reenviando estos datos a un servidor de red, generalmente a través de una conexión a internet. Los spreading factors (SF) determinan el equilibrio entre la tasa de datos y el alcance de la comunicación, mientras que los canales se refieren a las bandas de frecuencia específicas utilizadas para transmitir los datos. En nuestro escenario, los sensores de incendios forestales actuarán como nuestros *end devices*.

Definiremos a continuación el problema de colocación óptima de incendios forestales de la siguiente forma. Consideramos en primer lugar los siguientes conjuntos:

- Llamamos P al conjunto de *puntos de interés*, y denotamos por $S \subseteq P$ el conjunto de puntos disponibles para colocar un sensor.
- Para $p \in P$, llamamos $S_p \subseteq S$ al conjunto de puntos disponibles para los sensores que cubren p .
- Llamamos G al conjunto de gateways.
- Denotamos por C el conjunto de canales disponibles.

Además, consideramos los siguientes parámetros:

- Llamamos $k \in \mathbb{N}$ al número de sensores que se pueden utilizar.
- Para $s \in S$ y $g \in G$, llamamos m_{sg} al spreading factor mínimo para que el sensor s alcance al gateway g , o ∞ si el sensor s no puede alcanzarlo.
- Finalmente, definimos $priority_p$ como la prioridad asignada al punto de interés $p \in P$.

El objetivo del problema es determinar

- un subconjunto de ubicaciones potenciales en las que se deben instalar los sensores,
- un conjunto de gateways y un spreading factor asociados con cada sensor,
- un canal asociado con cada gateway,

de manera tal que se maximice una combinación ponderada del número de puntos de interés cubiertos, ajustada por su prioridad asignada, garantizando que el número de sensores totales y el número de sensores por gateway no excedan ciertos números preestablecidos.

En este trabajo presentamos distintos modelos de programación lineal entera para abordar el problema de la colocación óptima de sensores de incendios forestales, reportamos los resultados de experimentos computacionales para evaluar

el desempeño de los mismos, y presentamos algunos resultados teóricos sobre estos modelos.

References

- Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the limits of lorawan. *IEEE Communications magazine*, 55(9), 34–40.
- Alliance, L. (2017). *Lorawan 1.1 specification*.
- Lima, E., Moraes, J., Oliveira, H., Cerqueira, E., Zeadally, S., & Rosário, D. (2021). Adaptive priority-aware lorawan resource allocation for internet of things applications. *Ad Hoc Networks*, 122, 102598.
- Micheletto, M., Zabala, P., Ochoa, S. F., Meseguer, R., & Santos, R. (2023). Determining real-time communication feasibility in iot systems supported by lorawan. *Sensors*, 23(9). <https://doi.org/10.3390/s23094281>
- Sundaram, J. P. S., Du, W., & Zhao, Z. (2019). A survey on lora networking: Research problems, current solutions, and open issues. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(1), 371–388.