

Optimal Energy-Efficient Transmission Configuration of Frontier Nodes in Long-Range Communications

Resumen

El principal objetivo es lograr optimizar el gasto de energía en redes LoRa de nodos frontera. Se propone utilizar tales nodos para aumentar las capacidades de la red, redireccionando el tráfico de nodos externos que no están en contacto con el gateway. Esto evita la instalación de nuevos gateways, que en muchos casos no es rentable. Evaluando diferentes configuraciones de transmisión (e.g., Spreading Factor, Coding Rate, Bitrate, etc.), se propone un algoritmo de aprendizaje reforzado para obtener aquellas configuraciones que logran una mayor eficiencia energética, maximizando la vida de la batería del dispositivo, mientras se garantiza una mayor fiabilidad (PRR y PDR), y se premia la transmisión los mensajes de alta prioridad.

Reinforcement learning

Formación en Reinforcement Learning (RL)

Estado del arte

Estudio de trabajos relacionados de control de parámetros de transmisión, con los nodos frontera, y con los estudios de modelado de PRR y modelos de propagación en LoRa. Estudio de costes de instalación de pasarelas LoRa (tabla sencilla de 5-10 modelos comerciales de gateways incluyendo diferentes características, tales como modelo, coste, potencia máxima, sensibilidad, etc.). Ver también especificaciones de LoRa.

Nota: subir todo a repositorio GitHub¹.

Entorno de entrenamiento (Gym interface)

Desarrollo de entorno de entrenamiento de RL. En tal entorno, un *nodo frontera* (considerado nuestro agente) es sometido a diferentes cargas de tráfico generadas por un número diferente de *nodos externos* que no están en contacto con el gateway y que necesitan transmitir información a través del nodo frontera. En cada iteración del entrenamiento, el agente cambia de estado mediante una acción, en particular, establecer una determinada configuración de transmisión (incluyendo la acción de no transmitir). En cada cambio de estado se recibe una recompensa por parte del entorno. En este paso es necesario tener en cuenta la limitación del ciclo de trabajo o duty-cycle (mediante la formulación de Q) [1].

La recompensa debe ser formulada en función del comportamiento deseado:

- **Energía (E).** Se debe minimizar la energía (en función la configuración escogida). En este punto, es necesario ver la relación entre la configuración escogida y la energía gastada (ver detalles de la formulación en la sección de consumo energético). Ver durante cuánto tiempo se emite. Ver especificaciones.
- **Packet Reception Rate (PRR).** Maximizar PRR. El PRR nos sirve como métrica del rendimiento de las transmisiones del nodo frontera en función de la configuración seleccionada y la longitud de paquete, como se puede observar en la ecuación (1). Por un lado, a mayor longitud de paquete mayor probabilidad de que los mensajes recibidos en el gateway sean erróneos. Y, por otro lado, el PRR va en función del BER, que a su vez va definido en función de α y β (configuración escogida). En términos de Spreading Factor (SF), a menor SF, mayor Bitrate. Las mayores tasas de datos se caracterizan por ser más susceptibles al medio [2], por lo que mayor será el VER medido en el gateway. Resumiendo: el objetivo es obtener un PRR lo más alto posible.

$$\log_{10} BER(SNR_{dB}) = \alpha e^{\beta SNR_{dB}} \quad (1)$$

- **Packet Delivery Rate (PDR).** Maximizar el PDR. No se debe confundir con el PRR. Mientras que el PRR mide el rendimiento de las transmisiones del nodo frontera, la misión del PDR es medir cuántos

¹ <https://github.com/juanaznarp94/LoRaRL>

paquetes enviados por los nodos externos son finalmente enviados o si en cambio son descartados. Supongamos que existen dos nodos externos y que solamente la mitad de los paquetes enviados al nodo frontera son finalmente retransmitidos al gateway. El PDR sería 0.5, mientras que el PRR vendría dado en función de la ecuación (1) (esto es, en función de la configuración y de la longitud de paquete).

- **Prioridad (G).** Se debe premiar la transmisión de mensajes con prioridad alta. Además, se debe penalizar la no transmisión de los mensajes.

Modelado del consumo energético

El objetivo de esta sección es modelar el consumo energético de los nodos frontera, para así poder asignar recompensas en función de la acción tomada (configuración).

El primer método propuesto es sencillo, evaluar la duración total de la pila o batería e ir restando intensidad de corriente a medida que se avanza en el tiempo y se van tomando configuraciones. Para ello, recurrimos al simulador [3], en el que dados diferentes parámetros de entrada (tipos de medidas, dispositivo, duración deseada, periodicidad de transmisiones, región, etc.), se obtienen ciertas recomendaciones de baterías y su perfil de consumo. Con el perfil de consumo, se puede saber exactamente cuánta energía gastamos realizando cada acción. Simplemente habría que extender el tiempo de transmisión en función de la duración del paquete transmitido por nuestro nodo frontera. El tiempo ocioso, de recepción y en off, también deberían ser integrados para un mayor realismo.

Este primer método es sencillo, pero solamente toma en cuenta el número de bits transmitidos o longitud de paquete. Tras realizar búsqueda de modelados de energía en LoRa, encontramos el siguiente modelo [4], que estima la energía gastada por bit útil en función del SF y diferentes parámetros. Previamente, en dicho trabajo se calculan diferentes parámetros como el Time On Air (TOA). El trabajo está basado en el nodo SX1272 [5] (por cierto, datasheet muy completo), que nos puede servir de referencia para nuestro trabajo.

$$E_{bit} = \frac{P_{const}(p_{tx})(N_{payload} + N_P + 4.25)2^{SF}}{8 \cdot PL \cdot BW} \quad (2)$$

Ver artículo [4] para detalles de la ecuación (2). Mediante esta ecuación, podríamos estimar el gasto energético por bit útil (y por tanto del paquete transmitido) en función del SF y demás parámetros. Esto es precisamente lo que estábamos buscando para modelar nuestra recompensa (a menor gasto energético, mayor recompensa).

Entrenamiento en SB3

Se debe comprobar que el entorno (env) funciona correctamente, esto es, que las acciones realizan cambios de estados y se recibe cierta recompensa. Dicho entorno ha sido desarrollado según la interfaz Gym (funciones Step, Reset, etc.), que nos es útil para utilizar de forma sencilla algoritmos ya implementados en diversas librerías (ChainRL, Stable-Baselines-3, etc.). Nos centraremos en Stable-Baselines-3.

Aquí es importante obtener gráficas de la evolución de la recompensa a lo largo de las iteraciones de entrenamiento. Si la recompensa no es creciente con el tiempo, el algoritmo no está aprendiendo adecuadamente.

Evaluación de la política obtenida

Por último, se guarda la política obtenida al finalizar el entrenamiento y se evalúa en diferentes escenarios (programados en Python). En términos prácticos esto significa crear un entorno muy similar al de entrenamiento, con un nodo frontera, y obtener el gasto energético para diferentes situaciones (variar # nodos frontera). Puede darse el caso en el que la recompensa sea creciente pero el gasto energético sea inadecuado. Esto significa que la función de recompensa ha sido mal formulada y el agente no hace lo que debe hacer (es necesario volver al paso 3 y entrenar con una nueva recompensa).

Goals

Lograr publicar en congreso o revista científica.

References

1. Sandoval, R.M.; Garcia-Sanchez, A.J.; Garcia-Haro, J.; Chen, T.M. Optimal policy derivation for transmission duty-cycle constrained LPWAN. *IEEE Internet Things J.* **2018**, *5*, 3114–3125.
2. Błaszczyszyn, B.; Mühlethaler, P. Analyzing LoRa long-range, low-power, wide-area networks using stochastic geometry. *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.* **2018**, 119–126.
3. IoT Smart Selector | Saft4U Available online: <https://saft4u.saftbatteries.com/en/iot/simulator> (accessed on Jun 29, 2022).
4. Bouguera, T.; Diouris, J.F.; Chaillout, J.J.; Jaouadi, R.; Andrieux, G. Energy Consumption Model for Sensor Nodes Based on LoRa and LoRaWAN. *Sensors (Basel)*. **2018**, *18*.
5. SX1272 | Long Range, Low Power RF Transceiver 860-1000MHz | Semtech Available online: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-core/sx1272#datasheets> (accessed on Jun 29, 2022).