

# Simulación de transmisión efectiva para WiFi 802.11ah HaLow - NinjaHacker y los Shinobi

*Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María*

*Mario Araya F. - 201630003-1; Christian Fuentes - 201530024-0; Marcelo Villablanca -*

**Resumen** — Durante este informe se establecerán las bases del simulador que determinará la eficiencia de transmisión de paquetes del estándar de transmisión inalámbrica WiFi HaLow utilizando factores como la distancia, la SNR(relación señal a ruido) y el PER(tasa de error de paquete).

## I. INTRODUCCIÓN

El estándar de comunicación 802.11ah más conocido como HaLow pertenece a la familia de estándares WiFi. HaLow trabaja con una frecuencia cercana a los 900 MHz en la mayoría de los países, puede alcanzar distancias mayores a 1 Kilómetro y una tasa de 54[Mbits/s][1]. Estas características les permiten ser una buena alternativa para abordar problemas del IoT que requieren transmisión de imágenes o grandes cantidades de datos, cosa que LoRa y Zigbee no podrían por su tasa de transmisión más acotada. Tomando en cuenta las características y afirmaciones antes hechas sobre este estándar, se le someterá a una pruebas mediante un simulador que tendrá como variables de entrada la distancia entre nodos, la SNR en el receptor, entre otras para finalmente calcular la probabilidad o tasa de error de paquete(PER) y mediante experimentos determinar la tasa de transmisión promedio que alcanza este estándar para ciertas distancias y entornos. Para simular los entornos de transmisión se tiene pensado implementar modelos de transmisión inalámbrica distintos al de espacio libre(Friis), como el de dos rayos, 10 rayos o log-distance path loss model with shadowing, este último es el utilizado por simuladores de redes inalámbricas como OMNeT++ o al menos ejecutar una versión de Friis pero variando su exponente de pérdidas por distancia.

## II. DESCRIPCIÓN DE LA RED

La red consistirá en un nodo central que obtiene la información que debe transmitirse a otros nodos de forma

directa(Ethernet). Este nodo central enviará la información de forma inalámbrica utilizando el estándar de comunicación HaLow a nodos receptores a una distancia de X kilómetros. Los nodos receptores estarán distanciados a 0.001, 0.002, 0.003, 0.005, 0.007, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.07, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 3, 5, 7 y 10 kilómetros del nodo central. La comunicación con cada nodo será independiente y se simulará de esta misma manera. Una porción de la red está representada en el diagrama de la figura 1.

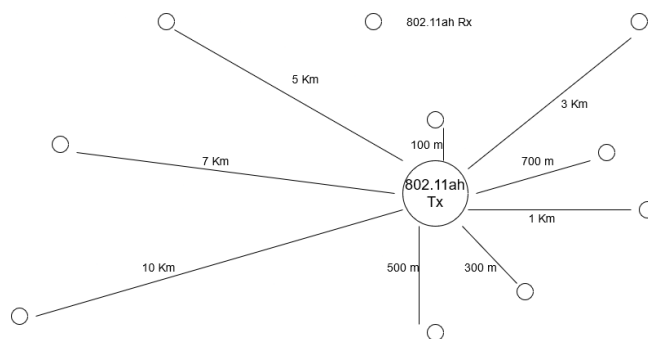


Fig.1 Diagrama de la red.

## III. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es simular un entorno de transmisión de paquetes usando comunicación inalámbrica con tecnología WIFI (802.11ah HaLow). A diferencia de las simulaciones realizadas para distintas investigaciones[2][3], se tomará tanto la distancia como la cantidad de datos de los paquetes y el PER para determinar la tasa efectiva. Finalmente obtener las distancias máximas en cada entorno para obtener un calidad de servicio suficiente.

## IV. DESARROLLO

El desarrollo de este proyecto se efectuará utilizando un tamaño finito de 1 [Kbits] por paquete que se enviarán a cada nodo de forma independiente. Esto se hará utilizando canales de diferente ancho de banda distribuidos en la banda total utilizada por el estándar y además usando esquemas QAM de distintas constelaciones para variar los bits por símbolo. En la figura 2 y en la figura 3 se muestran las bandas utilizadas para este estándar y también las variaciones el ancho de banda para cada canal en el caso de la banda Estadounidense[4].

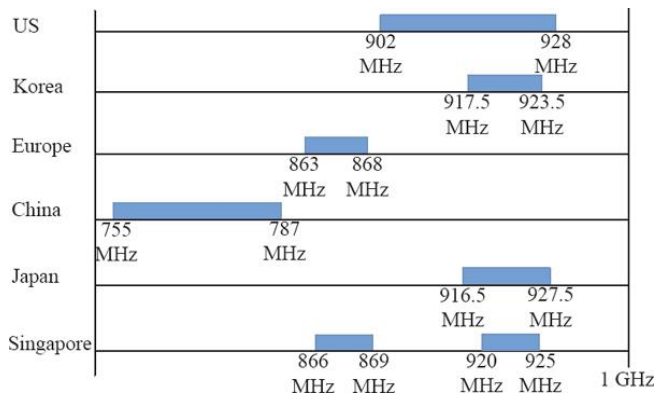


Fig.2 Bandas de frecuencia por país.

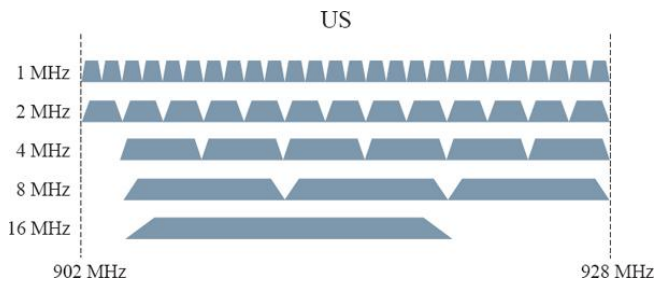


Fig.3 Anchos de banda por canal en USA.

Luego de haber determinado todo lo anterior, se procederá a iterar sobre los nodos a transmitir. Cada nodo tiene una distancia definida y con ella se podrá calcular la SNR y el PER, el cual determinará nuestra probabilidad de obtener un paquete errado, el cual se asume que no es corregido por ningún algoritmo ni se transmite con bits de redundancia, y con esto calcular cual es la tasa efectiva de recepción de paquetes que tuvo ese nodo en específico. La potencia de transmisión y la potencia mínima de recepción están definidas por el módulo WiFi SX-NEWAH[5].

Para calcular la probabilidad de error de paquete o PER, primero se deberá elegir el entorno o modelo de propagación[6], en este caso será la ecuación de Friis pero modificando el exponente de pérdidas por los definidos por el modelo log-distance path loss model with shadowing según el entorno. Luego de esto usaremos las ecuaciones para determinar la tasa de error de bits(BER) o símbolos(SER) para un canal Gaussiano y así obtener la probabilidad de error de bit o símbolo para el caso de QAM[7] y con esto finalmente calcular la tasa de error de paquete(PER) o probabilidad de error de paquete usando las probabilidades antes calculadas[8]. Antes de calcular el SER deberemos determinar la SNR en la antena receptora, por lo tanto se generará un número aleatorio con distribución normal con media -80[dBm] y desviación estándar -10[dBm], para generar ruido blanco gaussiano en [dBm][9]. Luego de esto finalmente se tendrá que calcular el PER y a través de él generar números aleatorios con distribución Normal estándar ya que las probabilidades anteriormente calculadas fueron en un canal

Gaussiano utilizando la famosa función Q. La distribución Normal o Gaussiana genera variables aleatorias independientes por lo que es perfecto para determinar si paquetes independientes están errados. El criterio que se utilizará para determinar si el paquete transmitido está errado será calculando esta variable aleatoria Normal estándar y comparando si ese número en la función distribución nos entrega una probabilidad 1-PER o mayor, esa área será dividida en dos y representará las periferias de la campana, si el número aleatorio cae dentro de alguna de estas áreas periféricas, el paquete estará errado. Este proceso se iterará para cada nodo donde se tendrá como criterio de salida la transmisión de 500.000 paquetes de 1 [Kbits].

Finalmente se realizará un análisis de sensibilidad en donde se tomará en cuenta el “guard interval”(GI), el ancho de banda del canal y el tipo de modulación(BPSK, QPSK, M-QAM), además de los ambientes que se desean estudiar.

## V. CONOCIMIENTOS Y HERRAMIENTAS

### A. Conocimientos y herramientas adquiridas

Hasta el momento los integrantes del grupo en su mayoría han cursado ramos que les permitirán entender la transmisión de señales como tal y los problemas que conlleva. Se han estudiado los distintos métodos de modulación digital como QAM y el análisis del espectro de frecuencias que permiten calcular la información que se puede transmitir para cada ancho de banda. Además de los distintos modelos de propagación de señales inalámbricas que los ayudarán a determinar las pérdidas de señal simulando un entorno con o sin obstáculos. Por otro lado, también se tiene a disposición los conocimientos adquiridos en redes inalámbricas y de simuladores que nos permitirán enfrentarnos a este desafío. En la figura 4 podremos ver la ecuación de espacio libre y en la tabla 1 los distintos valores para el exponente de pérdida para la distancia.

#### 15.3.1.5 Path loss estimation

An important parameter that indicates the nature of the propagation environment is the **path loss exponent**  $\gamma$ . Considering the Friis equation for free-space propagation of an EM wave from [19],

$$P_r = P_t \frac{G_r G_t}{L} \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left( \frac{1}{d} \right)^\gamma \quad (15.8)$$

where

- $P_r$  and  $P_t$ =Received and transmitted power, respectively;
- $G_r$  and  $G_t$ =Gain of receiver and transmitter antenna, respectively;
- $L$ =System loss (attenuation) such as insertion loss, and matching loss;
- $d$ =Distance between the receiver and transmitter antenna;
- $\lambda=c/f$ , where  $f$ =865 MHz; and
- $\gamma$ =The path loss exponent.

Fig 4. Modelo espacio libre.

Enviroment	Path Loss Exponent, n
Free Space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 to 5
In building line of sight	1.6 to 1.8
Obstructed in building	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

**Tabla 1.** Exponente del camino de pérdidas para diferentes ambientes.

#### A. Conocimientos y herramientas necesarias

Las herramientas que son necesarias para desarrollar este proyecto y que no han sido parte de la formación de los estudiantes hasta ahora son algunos modelos de propagación de señales inalámbricas utilizados en la industria, cálculos de probabilidad del BER/SER y PER. Conocimientos que a pesar de no estudiar a profundidad previamente, tenemos la capacidad de comprender sin problema debido a nuestra formación. A continuación en las figuras 5, 6 y 7 podemos ver algunas ecuaciones de conceptos a estudiar.

#### 1.4 BER for QAM constellation

The SER for a rectangular M-QAM (16-QAM, 64-QAM, 256-QAM etc) with size  $L = M^2$  can be calculated by considering two M-PAM on in-phase and quadrature components (see figure 3 for 16-QAM constellation). The error probability of QAM symbol is obtained by the error probability of each branch (M-PAM) and is given by:

$$P_s = 1 - \left(1 - \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M}} Q\left(\sqrt{\frac{3\gamma_s}{M-1}}\right)\right)^2 \quad (15)$$

**Fig 5.** BER o SER para QAM.

$$\frac{E_s}{N_0} = SNR \cdot \frac{B}{R}$$

donde

SNR es la **relación señal a ruido** o relación portadora a ruido.

B es el ancho de banda en hercios (Hz).

R es la tasa **símbolos por segundo** (baudios, o tasa binaria bruta  $f_b$ ).

**Fig 6.** SNR por bit o símbolo.

• Following equation mentions relationship between **BER** vs **PER**. This is valid for ideal communication system which transmits data over binary symmetric channel with uncorrelated noise.

$$p_n = 1 - (1 - p_b)^n$$

• In the formula "n" denotes number of bits in a packet, Pb denotes bit error rate (BER) and Pn denotes packet error rate (PER).

• The PER is determined exclusively by the BER and the number of bits in the packet's data payload and is not dependent by how the data is encoded or what happens during the transmit-receive process. Therefore the relationship between PER and BER is given by following formula.

►  $PER = 1 - (1 - BER)^n$

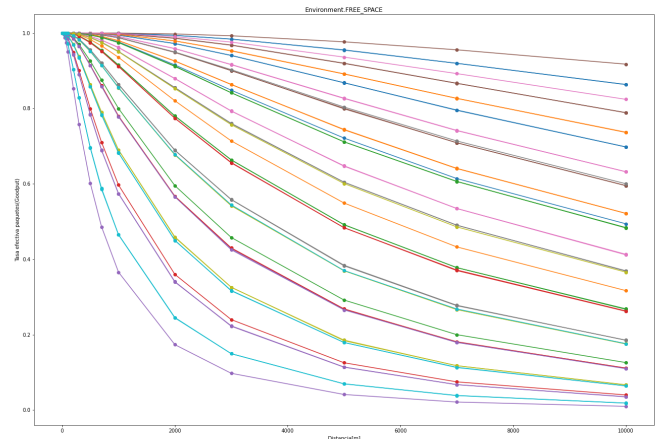
**Fig 7.** Cálculo del PER usando BER o SER.

Podría ser necesario revisar trabajos de terceros para poder tener una referencia a un simulador de redes inalámbricas real[10].

## VI. RESULTADOS

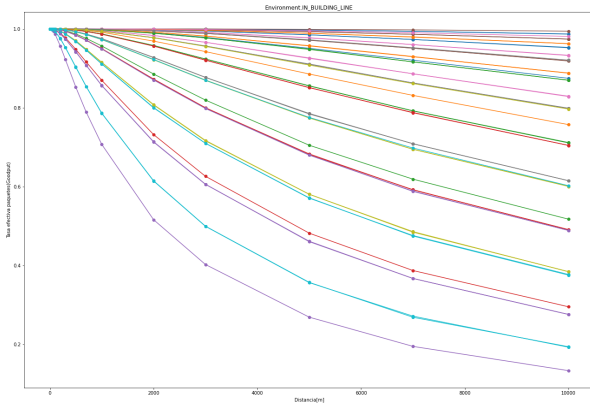
A partir de la simulación realizada, con un tiempo de ejecución cercano a las 50 horas, y 500.000 paquetes para cada una de las 6.300 configuraciones(6 ambientes, 21 distancias, 5 anchos de banda, 5 tipos de constelaciones y 2 guard intervals) se obtienen los siguientes resultados para cada tipo de ambiente:

#### A. Espacio Libre



**Fig 8.** Gráfico de Tasa Efectiva de Paquetes v/s Distancia en espacio libre.

### B. Línea de Construcción



## Simulación de transmisión efectiva para WiFi 802.11ah HaLow – NinjaHacker y los Shinobi

configuraciones por entorno que tienen como valor un 50% de Goodput.

Para ambiente de **espacio libre (Free Space)** la distancia máxima para alcanzar este criterio es 5.5 [Km].

Para ambientes **línea entre construcciones(In building line)**, como se crea una especie de guía de onda el exponente de pérdidas es el más bajo(entre 1.6 y 1.8) y se obtiene una distancia máxima de 6 [km] para cumplir con el criterio planteado.

Para ambientes **obstruidos dentro de edificios(Obstructed in building)** la distancia máxima para alcanzar un Goodput del 50% o mayor es 28 [m].

Para ambientes **obstruidos dentro de fábricas(Obstructed in factory)** es 1.125 [Km].

Para ambiente de **radio celular urbano (Urban Area Celular Radio)** es 350 [m].

Y para ambientes de **radio celular urbano obstruido (Shadowed Urban Area Celular Radio)** es 105 [m].

Finalmente a continuación en la tabla 2, se tienen los valores ordenados de las distancias según el ambiente.

Ambiente	Metros [m]
Espacio libre	5500
Línea entre construcciones	6000
Obstruidos dentro de edificios	28
Obstruidos dentro de fábricas	1125
Radio celular urbano	350
Radio celular urbano obstruido	105

**Tabla 2.** Gráfico de Tasa Efectiva de Paquetes v/s Distancia radio celular de zona urbana.

## VII. CONCLUSIONES

En el desarrollo de este proyecto se ha identificado como factor principal la probabilidad de transmisión efectiva entre dos módulos WiFi 802.11ah en diferentes distancias y entornos.

Luego de ejecutar el simulador en 6 ambientes distintos donde existen diferentes valores para exponente de pérdidas presentados en la tabla 1, realizando variaciones con respecto

al ancho de banda desde 1 a 16 MHz, el "guard interval" en 4 [ms] y 8[ms], y el tipo de modulación BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM y 256QAM, se pudieron obtener los valores de las distancias versus el Goodput de la transmisión. Estos valores calculados permitieron determinar cual era la distancia de cobertura "máxima" que puede tener el estándar 802.11ah para diferentes tipos de ambientes cumpliendo un criterio de calidad del 50%, lo que nos ayudará a comprender las limitantes de esta tecnología según la configuración o circunstancia a la que deseemos exponerla en proyectos futuros.

## VIII. REFERENCIAS

- [1][Wi-Fi HaLow: Qué es y características del WiFi para dispositivos IoT](#)
- [2][Throughput and Range Characterization of IEEE 802.11ah](#)
- [3][Resultados experimentales de 802.11ah con respecto a la distancia.](#)
- [4][IEEE 802.11ah: A Long Range 802.11 WLAN at Sub 1 GHz](#)
- [5][Industry's first 802.11ah Wi-Fi Solution for Internet of things \(IoT\) devices SX-NEWAH](#)
- [6][Modelos de propagación.](#)
- [7] [BER\(or SER\) calculation.](#)
- [8][BER vs PER-difference between Bit Error Rate.Packet Error Rate](#)
- [9][1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN](#)
- [10][UN SIMULADOR DE CANALES INALÁMBRICOS](#)