

7. Modelos de propagación en NS-2

Los modelos de propagación implementados en NS-2, son usados para predecir la potencia de señal recibida para cada paquete. En la capa física de cada nodo existe un umbral de potencia de recepción. Esto quiere decir que cuando un paquete es recibido por un nodo, lo primero que se realiza es una comprobación de la potencia que contiene dicho paquete para considerarlo como válido o por el contrario rechazarlo. Para conocer si el paquete es correctamente recibido, NS-2 compara la potencia recibida con dos niveles umbrales de potencia RXThresh (Receive power threshold) y CSThresh (Carrier Sense Threshold). Para calcular la potencia recibida se utilizan las funciones de propagación que veremos a continuación. Estas funciones dan la potencia recibida en función de la distancia entre nodos. Si la potencia recibida es mayor que RXThresh, el mensaje se recibirá correctamente. Cuando la potencia se encuentra entre RXThresh y CSThresh, el mensaje se detecta pero no puede ser interpretado. Finalmente si la potencia del paquete recibido se encuentra por debajo del límite inferior CSThresh, el mensaje no es detectado (Figura 1).

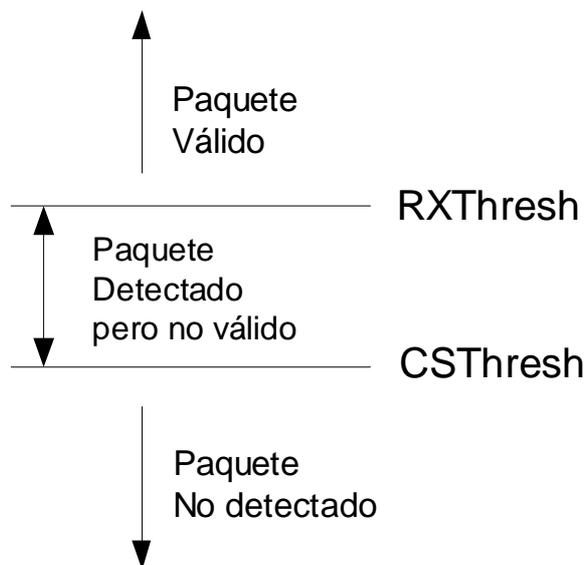


Figura 1: Umbrales de detección en NS-2.

Tres son los modelos de propagación utilizados en NS-2:

- Modelo de espacio abierto o "Free Space Model".
- Modelo de dos rayos con reflexión en la tierra o, "Two-ray reflection model".
- Modelo de Sombras, Multipath o "Shadowing model".

7.1. Modelo de Espacio Abierto

Este modelo asume una propagación ideal de las ondas, es decir las ondas se transmiten en línea de visión directa entre el transmisor y el receptor. H. T. Friis

presentó la siguiente ecuación para calcular la potencia recibida por un nodo en espacio abierto y a cierta distancia del emisor.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

Donde, $P_r(d)$, es la potencia recibida a una distancia d del emisor. P_t , es la potencia del emisor. G_t y G_r , son las ganancias de las respectivas antenas, tanto del emisor, como del receptor. λ , la longitud de onda. L , es la constante de pérdidas.

El modelo espacio libre representa básicamente un rango de comunicación que se puede representar como una esfera perfecta. Si el receptor se encuentra dentro de la circunferencia cubierta por el emisor, el receptor recibirá todos los paquetes, en caso contrario no.

7.2. Modelo de dos rayos

Considerar que la propagación de las señales se realiza en línea de visión directa, es una aproximación que en la mayoría de los casos es muy pobre. Debido a que en la inmensa mayoría de los casos existen reflexiones con distintos objetos que se encuentran entre la longitud cubierta desde el emisor al receptor. Un papel especialmente importante lo juega la tierra, ya que las ondas se reflejan en la tierra produciendo distintos modos de propagación, es decir lo que se conoce como multi-trayectoria o "multipath". Es por ello, que el modelo de dos rayos, el cual considera las reflexiones con la tierra, produce mejores resultados que el modelo de propagación de espacio libre, especialmente para casos de larga distancia. La potencia recibida por un receptor a una distancia d , se puede prever por la siguiente ecuación.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L}$$

Donde, P_t , es la potencia transmitida. G_r y G_t , las ganancias de las antenas. L , es la constante de pérdidas. H_r y h_t , son las alturas de las antenas.

La ecuación muestra un decremento de la potencia recibida, conforme la distancia incrementa. Esto se puede observar en el denominador de la ecuación, debido que en el primer modelo de espacio libre, la distancia aparecía elevada al cuadrado, mientras que en este modelo la distancia aparece elevada a la cuarta. Sin embargo, el modelo de dos rayos no da buenos resultados para cortas distancias, debido a la oscilación causada por la combinación constructiva y destructiva del modelo de dos rayos. Por lo que para distancias cortas el modelo de espacio abierto es todavía usado.

Figura 2 muestra una representación gráfica del modelo de reflexiones utilizado para el modelo de propagación de dos rayos.

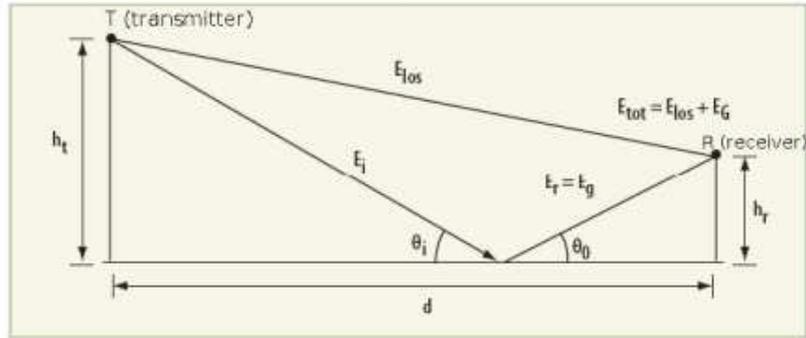


Figura 2: Representación gráfica del modelo de dos rayos.

7.3. Modelo de Sombras o Multitrayectoria (Shadowing)

Los anteriores modelos predicen la potencia recibida como una función determinista con respecto a la distancia. Ambos representan el área cubierta por el emisor como una esfera perfecta. Pero en realidad la potencia recibida es una variable aleatoria debido a la propagación de las señales multitrayecto. Lo que produce un desvanecimiento en la señal. De hecho, los modelos anteriores dan como resultado la potencia media recibida a cierta distancia del emisor. Un modelo más general y ampliamente usado es el denominado modelo de sombras o “shadowing”. A continuación se presenta tabulados algunos parámetros representativos del modelo de sombras, Tabla 1, Tabla 2.

Environnement	β
Outdoor Free space	2
Outdoor Shadowed urban area	2.7 to 5
Indoor Line-of-sight	1.6 to 1.8
Indoor Obstructed	4 to 6

Tabla 1: Valores típicos de la constante de pérdidas beta.

Environnement	σ_{dB}
Outdoor	4 to 12
Office, soft partitions	7
Office, soft partition	9.6
Factory, line-of-sight	3 to 6
Factory, obstructed	6.8

Tabla 2: Valores típicos de la desviación típica del modelo de sombras.

El modelo de sombras consta de dos partes. La primera es conocida como el modelo de pérdidas, el cual predice la potencia media recibida para una distancia d , la cual se representa por $Pr(d_0)$.

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log \left(\frac{d}{d_0} \right)$$

Donde beta es el exponente de pérdidas, y es empíricamente determinado mediante medidas en campo, como se observa en las tablas anteriores.

La segunda parte del modelo refleja la variación de la potencia recibida para cierta distancia. Esta se representa como una variable aleatoria de tipo normal. Es decir, como una distribución Gaussiana en dB, El modelo general de sombras es determinado por la siguiente ecuación.

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{dB}$$

Donde XdB es la variable aleatoria Gaussiana, con media cero y desviación típica sigma, la cual se han mostrado ciertos valores empíricos en las tablas anteriores.

Figura 3 muestra gráficamente la función de probabilidad para el modelo de sombras. De color oscuro se muestra las zonas donde existe una mayor probabilidad de establecer comunicación. Mientras que en las zonas claras la probabilidad de establecer comunicación es menor.

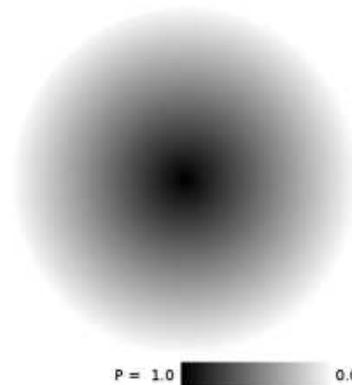


Figura 3: Función de probabilidad del modelo de sombras.

El modelo de sombras extiende la idea inicial de representar el rango cubierto por el emisor por una circunferencia ideal, por un modelo estadísticamente más apropiado. Los nodos tienen mayor probabilidad de comunicar con otros nodos si se encuentran cerca del rango cubierto por el nodo emisor. Es decir, se cambia el concepto de conexión estrictamente segura si el receptor se encuentra en el área cubierta por el emisor, a comunicación probable, si el receptor se encuentra en el rango del emisor.

Aplicación Threshold.cc

Existe un aplicación escrita en C++ denominada Threshold.cc, suministrada con el paquete NS-2, la cual genera el valor umbral de RXThresh, en función del modelo de propagación utilizado, y las variables representadas en la ecuaciones anteriores. Esta aplicación es muy útil cuando se conocen las características completas de los dispositivos emisor y receptor y se quieren simular en NS-2. Si no se conocen ciertos parámetros de las ecuaciones, la aplicación tiene definida ciertos valores por defecto.

7.4. Caracterización de los modelos de propagación en NS-2

El objetivo de este apartado es caracterizar en profundidad los modelos de propagación incluidos en el paquete NS-2, los cuales fueron anteriormente descritos cualitativamente. Para realizar dicha caracterización se ha definido un escenario en el que dos nodos establecen una comunicación WIFI, y uno de los nodos se va alejando con respecto al otro a cierta velocidad. Se ha seleccionado una baja velocidad para esta simulación, con el fin de que los resultados no se puedan ver afectados por la velocidad. Simulaciones que relacionan las velocidades de los nodos con las distancias de comunicación entre éstos, serán vistas en capítulos posteriores. Por lo cual, este apartado se centra exclusivamente en como los modelos de propagación afectan a la distancia máxima de comunicación entre dos nodos. En la siguiente Figura 4 se ilustra el escenario simulado.

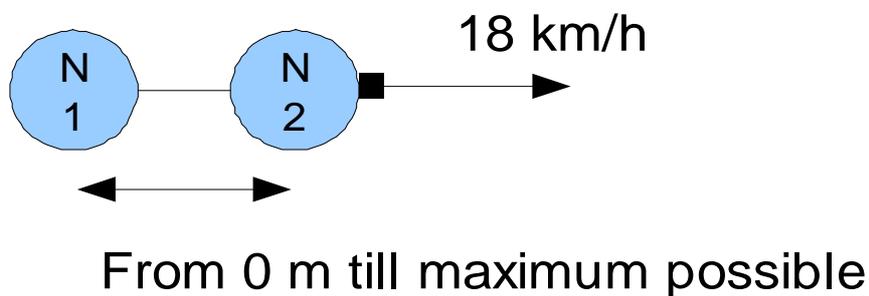


Figura 4: Caracterización de los modelos de propagación.

7.4.1. Resultados

La siguiente Tabla 3 muestra los resultados obtenidos para las distintas simulaciones realizadas. En la primera columna se listan los distintos modelos de propagación utilizados en las simulaciones. En la segunda columna se detallan las máximas distancias para las cuales los nodos son capaces de comunicar.

Type	Values (m)
Free Space	599,0906
Two Ray	249,1641
Shadowing Beta= 2.5	236,4463
Shadowing Beta= 3.5	47,2718
Shadowing Beta= 4.5	17,3670

Tabla 3: Valores máximos para cada modelo de propagación.

Los resultados anteriores son representados en la siguiente gráfica para un mejor entendimiento, Figura 5.

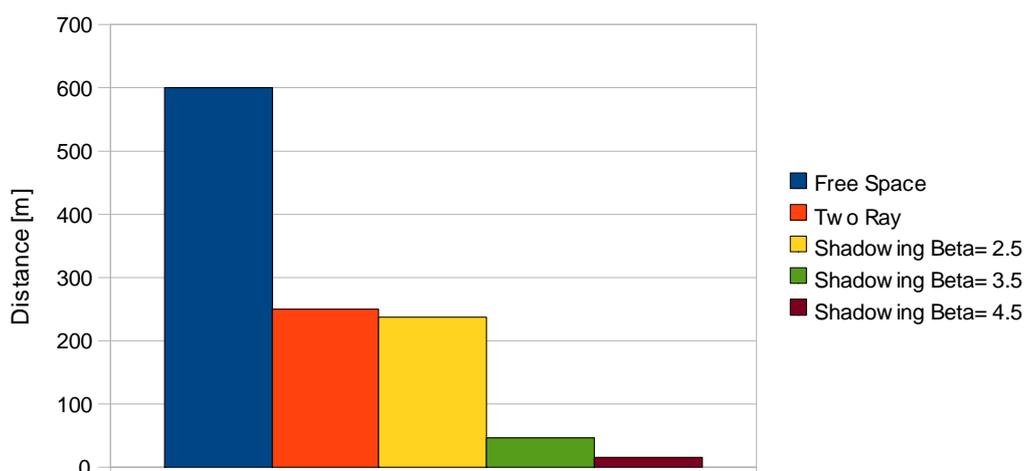


Figura 5: Comparación de los valores máximos obtenidos para cada modelo de propagación.

7.4.2. Descripción de los resultados

Como era de esperar, el modelo de espacio libre es el modelo que permite un mayor rango de cobertura entre nodos, llegando la distancia máxima de conexión a unos 600 metros. Como ya se comentó anteriormente, el modelo de espacio libre no es un modelo apropiado para simulaciones entre nodos móviles en situaciones reales, ya que su rango de cobertura es demasiado optimista. Considerando el mismo como una circunferencia perfecta. El rango de aplicaciones donde el modelo de espacio libre puede ser utilizado cubre aplicaciones como, comunicaciones entre satélites, o enlaces de microondas en línea de visión directa.

Con el modelo de dos rayos, la distancia máxima alcanzada es de unos 250 metros. Como se comentó anteriormente, este modelo puede ser utilizado para escenario en campo abierto donde no existan obstáculos entre los nodos. De hecho, la siguiente columna que corresponde a la simulación realizada usando el modelo de propagación de sombras pero en condiciones de espacio abierto, muestra que los resultados obtenidos en ambos casos son muy parecidos, por lo que ratifica que el modelo de dos rayos es adecuado para este tipo de escenario.

Las dos últimas columnas muestran los resultados obtenidos usando el modelo de sombras. En color verde, se puede observar los resultados para una configuración del modelo de sombras, que tiene en cuenta un entorno de exteriores sin muchos obstáculos. Mientras que la última columna es para un entorno de exterior o interiores, en la que se considere que existe una gran cantidad de obstáculos.

En las posteriores simulaciones en este trabajo siempre se va a considerar el modelo de dos rayos, ya que se considera que para los escenarios seleccionados este es el modelo más apropiado. Se considera que en aplicaciones ferroviarias el número de obstáculos entre nodos es bajo, debido a que habitualmente tanto las estaciones de trenes, como los trenes, se encuentran en campo abierto.