

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
Escuela Politécnica Superior

**“Modelos de Canal Wireless en el
Espectro de la Televisión Digital”**

Departamento de Teoría de la Señal

María Hiniesto



Tutor: Danyo Danev
Cotutor: Francisco J.González Serrano

Septiembre 2009

Índice

1. Introducción

1.1. Redes inalámbricas

1.2. Sistemas inalámbricos MIMO

1.3. Modelos de canal físicos y analíticos

2. Modelos de Canal Espacial

2.1. Descripción

2.2. Modelo de Simulación

3. Adaptación a las bandas de frecuencia de la DTV

3.1. Descripción

3.2. Modelos de Canal

4. Implementación

4.1. Descripción de archivos incluidos en el paquete

5. Conclusiones

El presente proyecto ha sido realizado en Linköping Universitet, en Suecia, guiado bajo la supervisión de Danyo Danev, profesor del departamento de ingeniería eléctrica y especializado en proyectos de sistemas de comunicación.

El Coordinador Académico es en este caso, el mismo que el Cotutor que desde España ha seguido los avances del proyecto, Francisco Javier González Serrano.

El período de duración de este proyecto ha estado comprendido entre los meses de Octubre de 2008 a Junio de 2009, mes en el que tuvo lugar la presentación y defensa del proyecto en Linköping.

La calificación obtenida en Suecia fue de 4 que según la tabla correspondiente de notas, es un sobresaliente en España.

Es un estudio sobre los parámetros y métodos asociados al modelo de canal espacial, comunes a las necesidades de 3GPP y 3GPP2.

En él se establecen los parámetros físicos de suma importancia y se desarrollan las dependencias existentes entre ellos, siguiendo la misma metodología que el Grupo de Trabajo IEEE 802.20 pero introduciendo una importante diferencia: la frecuencia a la que se trabajará será diferente a fin de estudiar las características de los modelos de canal inalámbrico a frecuencias bajas, comprobando los beneficios de la asignación de porciones del espectro entre 470 MHz y 862 MHz, pertenecientes a la banda de televisión digital.

Es importante cuando se modelan canales de este estilo, tener en consideración los diferentes escenarios en los que nos podemos encontrar, pues los parámetros variarán en función de si estamos en zonas urbanas o rurales o si contamos con edificios y obstáculos que dificulten la visibilidad en la comunicación.

1. Introducción

1.1. Redes Wireless

Las redes celulares, como GSM y 3G, están hoy disponibles en todo el mundo. Propiamente dicho, estas redes tienen la capacidad de proporcionar conectividad inalámbrica de alto rendimiento. Para el diseño y ensayo de sistemas de comunicación inalámbrica, el modelo de canal es una necesidad absoluta y es por eso que cualquier sistema de comunicación inalámbrica tiene que especificar un modelo de canal de propagación, que puede actuar como base para la evaluación y comparación.

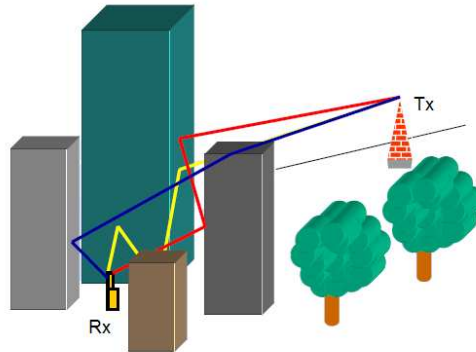


Figura 1.1: Ejemplo de canal wireless

En lugar de las redes fijas donde los electrones se mueven en cables de cobre, las redes de telefonía móvil hacen uso de ondas electromagnéticas que se propagan en el aire, véase la Fig. 2.1 para un ejemplo simple de canal móvil. Así que podemos decir que los canales inalámbricos se basan en las ecuaciones de Maxwell con campos electromagnéticos que se propagan en el espacio como la luz.

En términos generales, el factor dominante es la relación del tamaño de la antena con la longitud de onda. La frecuencia y la longitud de onda están relacionadas, la longitud de onda (en metros) es igual a la velocidad de la luz (en metros / segundo) dividido por la frecuencia (en Hertz - Hz):

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Así, la longitud de onda y la frecuencia están inversamente relacionadas y así, a altas frecuencias le corresponden longitudes de onda pequeña. Por ejemplo, un campo electromagnético de 10 MHz tiene una longitud de onda de 30 m.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{10 \text{ MHz}} = 30 \text{ m}$$

Aquellas antenas con un tamaño comparable al de la longitud de onda irradiarán más eficientemente. Por consiguiente, cuanto menor sea la frecuencia más grande debe de ser la antena. Debido a que la mayoría de las señales de información son señales de banda base con energía espectral a bajas frecuencias, éstas deben ser moduladas a frecuencias más altas para poder ser transmitidas a través de canales inalámbricos.

Por otra parte, en las redes móviles, las características del canal radio difieren dependiendo de la ubicación de las estaciones base y tecnología de la información, de los movimientos de estos

dispositivos de mano y también de los obstáculos en los alrededores. Así, diferentes canales podrían afectar el rendimiento de cara al usuario final. Por lo tanto, la información y el conocimiento sobre las características del canal de radio en distintos escenarios, será muy útil y permitirá comprender mejor nuevos servicios 3G.

1.2. Sistemas MIMO

La mayoría de los sistemas de comunicación inalámbrica que se utiliza en la actualidad son del tipo Single Input Single Output (SISO) en los que una única antena transmisora (Tx) se utiliza para la transmisión a una única antena receptora (Rx).

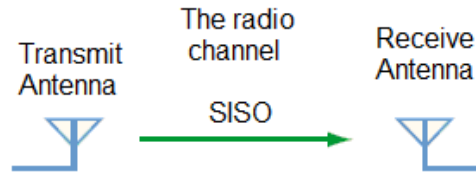


Figure 1.2: Single Input Single Output

Sin embargo, este escenario es probable que cambie con la llegada de sistemas Multiple Input Multiple Output (MIMO), siendo éste el escenario que consideraremos debido a sus beneficios en la propagación multipath y multiplicar las tasas de transferencia. Además, MIMO proporciona diversidad espacial, tanto en el transmisor y el receptor, mejorando así la calidad de transmisión en términos de tasa de error de bit (BER).

El enfoque MIMO requiere dos o más antenas de transmisión y dos o más antenas de recepción y debe tener al menos tantos receptores como flujos de datos transmitidos. No hay que confundir el número de estos flujos transmitidos con el número de antenas de transmisión.

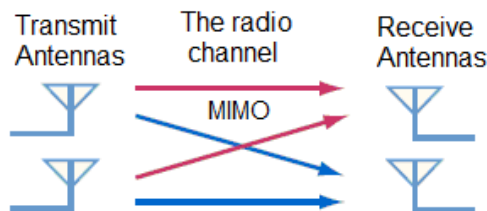


Figure 1.3: Multiple Input Multiple Output

En MIMO, las transmisiones de cada antena deben ser inequívocamente identificables, de manera que cada receptor pueda determinar qué combinación de las transmisiones ha recibido. Una forma básica de MIMO asigna un flujo de datos para cada antena. El canal se encarga de mezclar las dos transmisiones de manera que en los receptores, cada antena interprete una combinación de los flujos.

El canal MIMO tiene que ser descrito para todos los pares de antenas transmisoras y receptoras. Por lo tanto, desde una perspectiva de nivel de sistema, un canal MIMO lineal variante en el tiempo se representa por una matriz de $N \times M$, donde N y M son el número de antenas de transmisión y recepción, respectivamente.

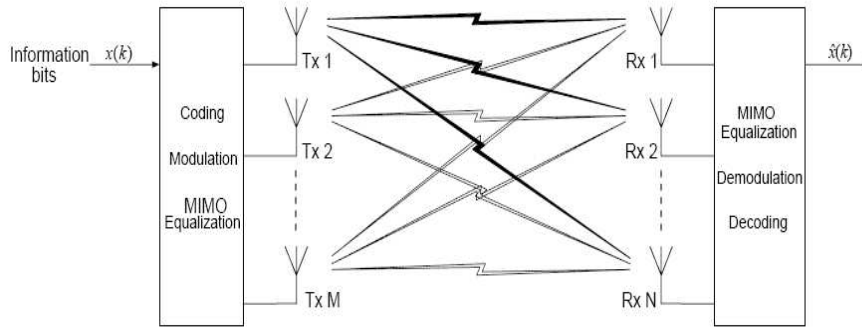


Figura 1.4: Diagrama de bloques de un sistema MIMO M x N

1.3. Modelos de canal físicos y analíticos

La distinción fundamental para los modelos individuales se encuentra entre los *modelos físicos* y *modelos analíticos*.

1) *Modelos de canal analíticos*: capturan la propagación de la onda física y la configuración de la antena simultáneamente, a partir de la descripción de la respuesta al impulso de las antenas que componen el array en ambos lados del enlace. Cada entrada de la matriz nos da la función de transferencia del transmisor M al elemento receptor N de la antena.

$$H(t, \tau) = \begin{pmatrix} h_{11}(t, \tau) & h_{12}(t, \tau) & \cdots & h_{1m}(t, \tau) \\ h_{21}(t, \tau) & h_{22}(t, \tau) & \cdots & h_{2m}(t, \tau) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1}(t, \tau) & h_{n2}(t, \tau) & \cdots & h_{nm}(t, \tau) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$h_{ij}(t, \tau)$ denota la respuesta al impulso, variante en el tiempo, entre el transmisor j al receptor i.

La matriz de canal (1) incluye los efectos de las antenas (tipo, configuración, etc.) y puede ser usada para formular la relación entre la entrada y salida en un sistema MIMO, entre la señal transmisora de longitud m y el vector de la señal recibida de longitud n de manera que:

$$y(t) = \int_{\tau} H(t, \tau) s(t - \tau) d\tau + n(t)$$

donde $n(t)$ modela el ruido y la interferencia.

2) *Modelos de canal físico*: se centran en los mecanismos de propagación entre la localización del transmisor y el receptor describiendo los parámetros de las componentes multipath, DOD (Delay Of Departure), DOA (Delay of Arrival) y amplitudes complejas. Estos modelos son muy útiles debido a su independencia con las configuraciones de las antenas y porque describen la propagación física por sí solos.

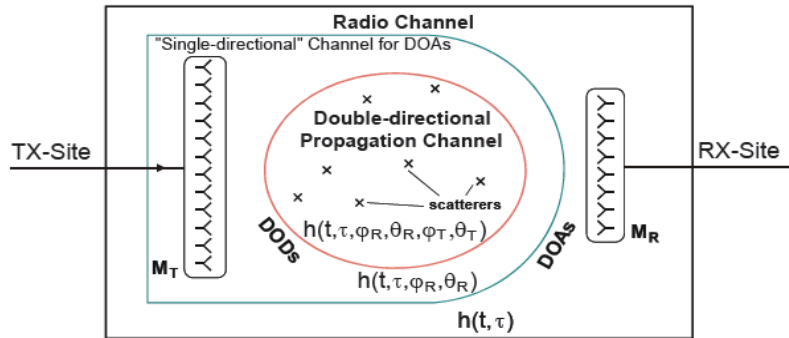


Figure 1.5: Double-Directional Propagation Channel [2.4]

Notar que es fácil obtener un modelo de canal analítico a partir de uno físico, pero no en sentido contrario.

Dentro de los modelos *físicos* podemos distinguir:

- Modelos deterministas (ej. trazado de rayos)
- Modelos estocásticos basados en la geometría (ej. GSCM de COST 259/273)
- Modelos estocásticos (sin entrada geométrica).

2. Modelos de Canal Espacial

2.1. Descripción

El Modelo de Canal Espacial (SCM, Spatial Channel Model) es un modelo geométrico o modelo de rayos basado en el modelo estocástico de scatters.

Fue desarrollado por 3GPP/3GPP2 para ser una referencia a la hora de evaluar diferentes conceptos MIMO en escenarios outdoor con una frecuencia central de 2GHz y un ancho de banda de 5 MHz. La frecuencia a la que nosotros trabajaremos será de 700 MHz, con el fin de estudiar el comportamiento a bajas frecuencias.

El procedimiento seguido por el 3GPP/3GPP2 se detalla a continuación pues es el mismo que nosotros hemos llevado a cabo.

Define tres escenarios:

- Suburban Macro
- Urban Macro
- Urban Micro

Y un número fijo de 6 caminos (“paths”) en cada escenario, cada uno representando la función de Dirac en el dominio del tiempo y compuestos por 20 subcaminos (“sub-paths”) separados espacialmente acorde al método de la suma de sinusoides.

Cada camino vendrá caracterizado por sus propios parámetros de canal espacial:

- Angle spread
- Angle of arrival
- Power azimuth spectrum (PAS)

Hemos modelado las potencias de cada camino, los retardos y las propiedades angulares en ambos lados del enlace, como variables aleatorias definidas a través de sus funciones de densidad de probabilidad (PDFs) y correlaciones cruzadas.

2.2. Modelo de Simulación

En lugar de considerar una única estación base (BS) transmitiendo a una única estación móvil (MS), como se haría en el caso de un sistema de calibración, el modelo de simulación consiste en múltiples células, sectores, BSs y MSs.

La señal recibida en la estación móvil consiste en N réplicas de los retardos en el tiempo de la señal transmitida y cada camino consiste en M subcaminos.

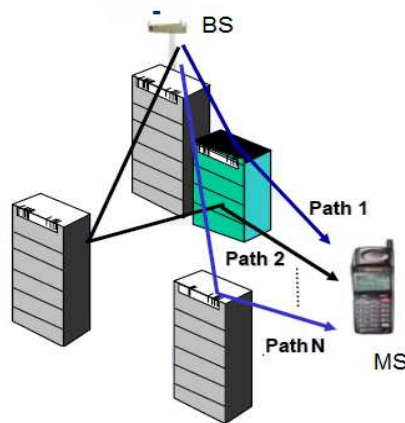


Figure 2.1: Modelo de Simulación del Sistema

El procedimiento general para generar las matrices de canal consiste en 3 pasos básicos:

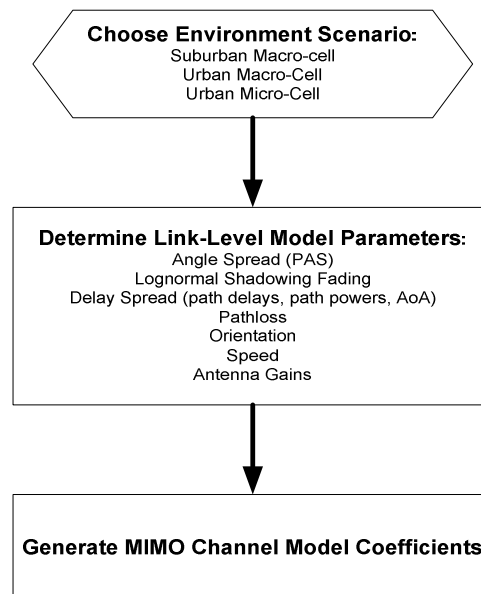


Figura 2.2: Diagrama de flujo para la generación de los coeficientes del modelo de canal MIMO

La figura 2.3 muestra los parámetros angulares usados en el modelo.

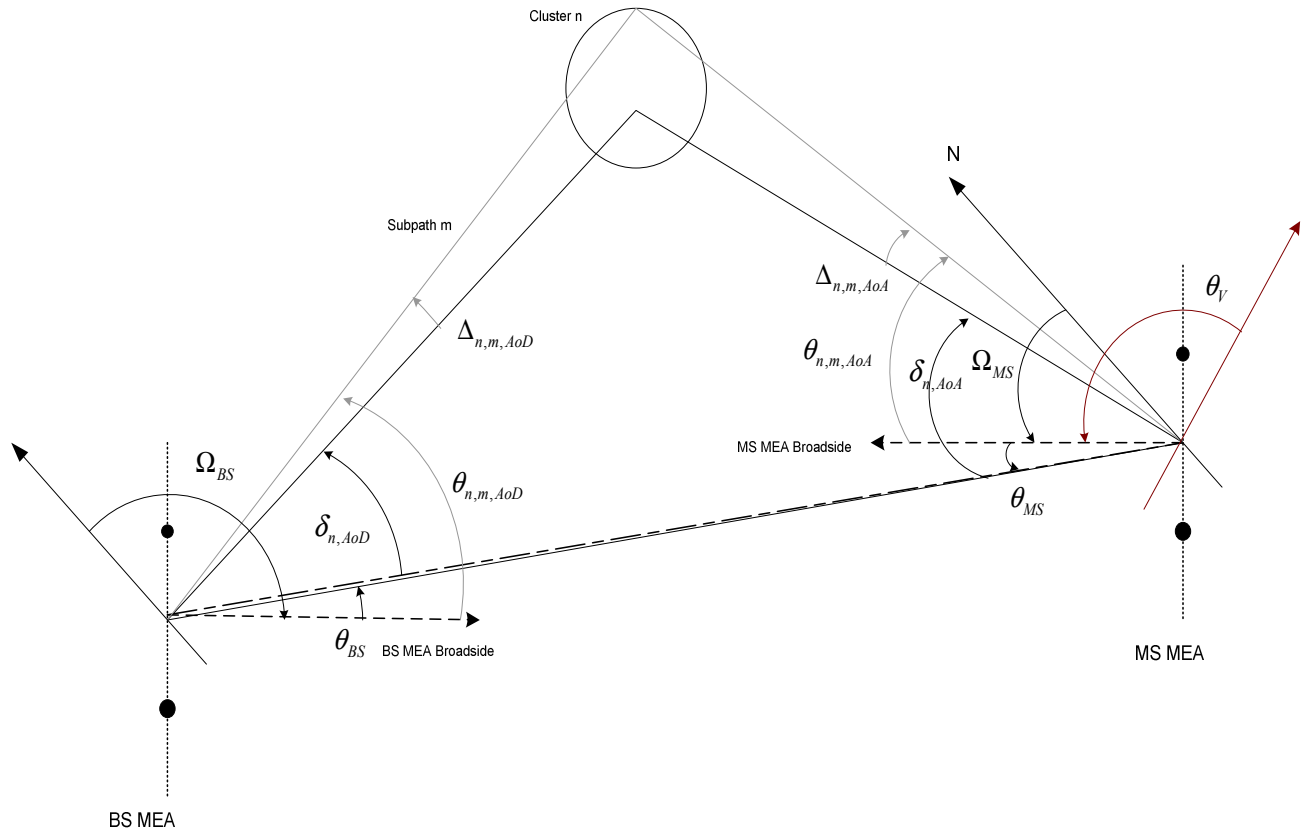


Figure 2.3: Parámetros del modelo de canal MIMO para la estación base (BS) y móvil (MS)

Ω_{BS}	Orientación del array de antenas en la estación base (BS), definido como el ángulo entre la dirección broadside y la dirección de referencia dada por el norte absoluto (N).
θ_{BS}	El ángulo entre la dirección LOS (Line of Sight) y el broadside en el BS.
$\delta_{n,AoD}$	Ángulo de salida (Angle of Departure, AoD) del rayo n con respecto a la dirección LOS, donde $(n=1, \dots, N)$. En nuestro caso, $N=6$.
$\Delta_{n,m,AoD}$	Offset del subcamino m del rayo n con respecto a $\delta_{n,AoD}$, donde $(m = 1 \dots M)$. En nuestro caso, $M=20$.
$\theta_{n,m,AoD}$	Ángulo de salida (AoD) absoluto para el subcamino m del rayo n en el BS con respecto a la dirección broadside.
Ω_{MS}	Orientación del array de antenas en la estación móvil (MS), definido como el ángulo entre la dirección y la dirección de referencia dada por el norte absoluto (N).
θ_{MS}	El ángulo entre la dirección LOS (Line of Sight) y el broadside en el MS.
$\delta_{n,AoA}$	Ángulo de llegada (Angle of Arrival, AoA) del rayo n con respecto a la dirección LOS
$\Delta_{n,m,AoA}$	Offset del subcamino m del rayo n con respecto a $\delta_{n,AoA}$.
$\theta_{n,m,AoA}$	Ángulo de llegada (AoA) absoluto para el subcamino m del rayo n en el BS con respecto a la dirección broadside.
V	vector de velocidad para el MS
θ_v	Vector del ángulo de velocidad con respecto al broadside en el MS: $\theta_v = \arg(V)$

3. Adaptación al espectro de frecuencia de la DTV

3.1. Descripción

Actualmente hay un gran interés en la televisión digital debido a que puede procesar grandes cantidades de información a muy bajo coste. Puede ser completamente integrado en un sistema digital de transmisión y empaquetado como nunca antes.

La gran ventaja de un sistema digital es el efectivo uso del espectro de frecuencia y su baja potencia radiada en comparación con la transmisión analógica, mientras que el área cubierta sigue siendo la misma. Otra de las ventajas es la posibilidad del diseño con una única frecuencia, Single Frequency Network (SFN), que se traduce en el uso de la misma frecuencia entre las estaciones vecinas sin que interfieran las señales adyacentes.

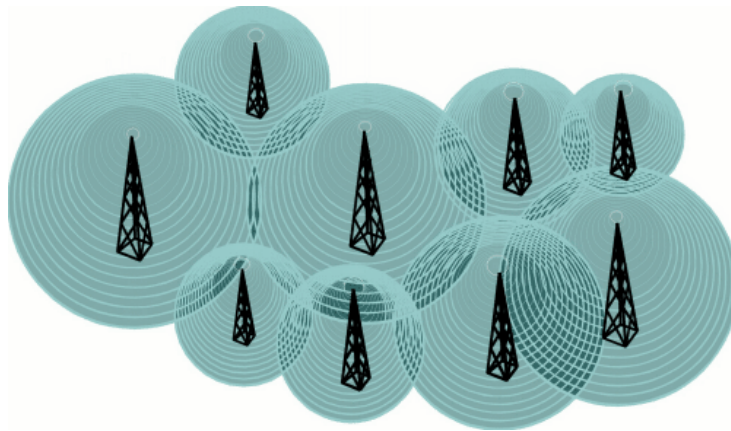


Figura 3.1: Red de área extensa con Single Frequency Network (SFN)

SFN es capaz de establecer una amplia cobertura en la que el receptor móvil pueda captar el servicio de TV al tiempo que se está moviendo.

Gracias a COFDM un receptor recibiendo dos o más señales en la misma frecuencia, en realidad usa la “interferencia” para construir una señal más potente. Las áreas oscuras de solapamiento en la figura de arriba no son debidas a la interferencia destructiva, sino a una ganancia en la red.

La multiplexación por división de frecuencias ortogonales es un método de multi-portadora con miles de subportadoras, ninguna interfiriendo con otras, debido a la ortogonalidad que guardan entre sí.

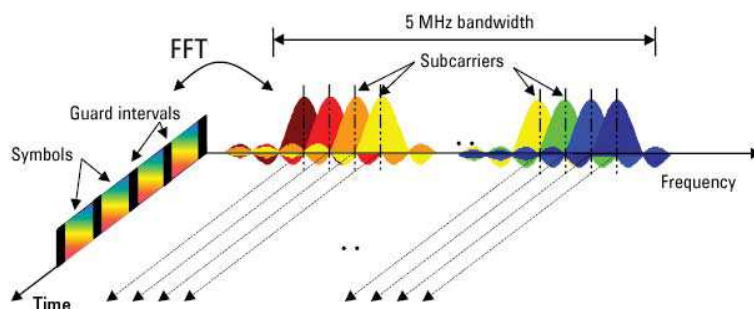


Figure 3.4: Señal OFDM representada en frecuencia y en tiempo

3.2. Modelos de Canal

Basaremos nuestro modelo de pérdidas en el modelo Hata que compramos con COST 259 y COST 273 en la siguiente tabla.

Tabla 3.1: Modelos de pérdidas

	COST-259	COST-273	Hata	COST-231
Frequency	>500 MHz	X, >2GHz	<1500 MHz	>1500 MHz
Broadband	X	√	X	X
Directional	√	√	X	X
MIMO	√	√	X	X
Beamforming	√	√	X	X
Mobility	√	√	X	X
Multipath	√	√	√	√
Urban Models	√	√	√	√
Suburban/Rural Models	√	√	√	√
Building Penetration Loss	+	+	+	+
Vehicle Penetration Loss	+	+	+	+
Channel Types	13	13	1	1

+: Puede ser añadido

La tabla mostrada a continuación muestra algunos parámetros relevantes que determinan las diferencias en el modelo de pérdidas entre nuestra frecuencia de interés (700 MHz) y 2.5 GHz asumiendo una configuración de las antenas de tipo SIMO (1x2) en ambos lados del enlace, en la estación base y la móvil.

Table 3.2: Parámetros en la comparación del modelo de pérdidas

Parameter	700 MHz	2.5 GHz
Modelo de Propagación	Hata	COST 231
Región	Suburban	
Altura de la antenna BS	32 meters	
Altura de los edificios	10 meters	
Altura de la antenna del terminal móvil	1.5 meters	
Path Loss a 1 Km	113.9 dB	140.6 dB

La tabla 3.3 muestra un resumen de los parámetros usados para estimar el rango y la cobertura de las bandas de frecuencia de interés.

Table 3.3: Parámetros para el rango de estimación

Parameter	700 MHz	2.5 GHz
Duplex	TDD	
Channel BW	10 MHz	
BS Antennas	Tx=1, Rx=2 (1x2 SIMO)	Beamforming Array
BS Antenna Gain	15 dBi	21 dBi
BS Tx Power (at antenna)	10 Watts (+40 dBm)	
BS Antenna Height	32 meters	
MS Antennas	Tx=1, Rx=2 (1x2 SIMO)	

MS Antenna Gain	-1 dBi	
MS Tx Power	200 mW (+23 dBm)	
MS Antenna Height	1.5 meters	
BS Noise Figure	4 dB	
MS Noise Figure	7 dB	
Building Penetration Loss	8 dB	10 dB
Propagation Model	Hata	COST 231

4. Implementación

A la hora de implementar el modelo de canal hemos tenido en cuenta los parámetros de radio enlace de un sistema MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), (2 elementos en el array de la estación base (BS) y 2 elementos para la estación móvil (MS)), los parámetros de configuración del modelo y los de las antenas como entradas, y la salida vendrá dada por las matrices de canal del sistema MIMO. La salida será por tanto, un array multi-dimensional que contendrá la respuesta al impulso del canal para un número predefinido de radio enlaces.

4.1. Descripción de los ficheros incluidos en el paquete

La Tabla 4.1 muestra las funciones incluidas en el paquete junto con una breve descripción.

Tabla 4.1: Ficheros MATLAB incluidos en el paquete

FICHERO	DESCRIPCIÓN
scm.m	Modelo de canal espacial 3GPP. Función principal que llama el usuario para generar matrices de canal. Llama a las funciones auxiliares que generan los parámetros de configuración.
scmparset.m	Configuración de los parámetros del modelo para el SCM (Spatial Channel Model).
linkparset.m	Configuración de los parámetros del enlace para el SCM (Spatial Channel Model).
antparset.m	Configuración de los parámetros de la antenna para el SCM (Spatial Channel Model).
pathloss.m	Modelo de pérdidas en el enlace para 700MHz.
interp_gain.m	Función del patrón de radiación de las antenas.
scm_core.m	Coefficientes del canal para un modelo de canal geométrico.
generate_bulk_par.m	Función que genera los parámetros aleatorios para células macro y micro.
cas.m	Función de utilidad para computer el circular angle spread.

ds.m	Función de utilidad para computar el RMS delay spread.
dipole.m	Función de utilidad que genera los patrones de radiación de dipolos con polarización horizontal o vertical.

5. Conclusiones

Tras el estudio realizado podemos concluir que el uso de sistemas MIMO (Multiple Input Multiple Output) en sistemas de comunicaciones proporciona un beneficio importante en la propagación multipath, multiplicando además las tasas de transferencia.

Dentro de las diferentes técnicas existentes para maximizar la eficiencia espectral, se propone evitar el uso de técnicas de antenas múltiples como MIMO, debido a que dichas técnicas presentan peores resultados a la frecuencia de 700 MHz. Obviando esto, hemos usado un sistema MIMO debido a sus beneficios, a pesar de que en muchas ocasiones los arrays de antenas en MIMO a 700 MHz son demasiado grandes para ser una opción realista.

En la actualidad existe un gran interés en la televisión digital (DTV), ya que puede enviar grandes cantidades de información a un coste muy bajo para el número máximo de espectadores; además, puede ser completamente integrada en las redes de transmisión digital.

La DVB-T y su uso de una única frecuencia de red, Single Frequency Network (SFN) permite conseguir un servicio de cobertura universal y una mayor eficiencia del espectro.