

## 6. CONCLUSIONES

En este apartado trataremos de estudiar los resultados obtenidos. Se observan claramente las diferencias existentes entre las medidas reales y las predicciones hechas mediante la simulación de Ray Tracing. Por este motivo intentamos calibrar la simulación de forma que se asemeje lo máximo posible a la realidad. Para dicha calibración se tiene únicamente en cuenta las medidas coherentes, es decir, a veces obtenemos resultados los cuales no pueden darse claramente, dichos resultados no son tenidos en cuenta a la hora de la calibración. Después de analizar todos los resultados obtenidos podemos llegar a las siguientes conclusiones.

- Es necesario una calibración previa de los instrumentos utilizados para obtener los resultados esperados. Dicha calibración previa tiene en cuenta desde los cables utilizados por el analizador de red para conectarse con las antenas, hasta hacer coincidir las condiciones ambientales en cada una de las mediciones realizadas para tratar de obtener los resultados más semejantes posibles.

Ambos algoritmos, tanto Matrix Pencil como MUSIC, deben ser calibrados también. El tiempo de llegada TOA de las diferentes trayectorias tiene un retraso constante. Dicho retraso es el tiempo empleado por el analizador de red para obtener la respuesta impulsiva del canal.

- Existe una gran diferencia en Indoor Path Loss en el caso de que tengamos Line Of Sight (LOS) o None Line Of Sight (NOLS). En el primer caso LOS las pérdidas aumentan cuando la distancia entre Tx y Rx también lo hacen. Este aumento en las pérdidas es constante todo el tiempo, es decir no hay una distancia intermedia para la cual se produzca un descenso en dicha atenuación. En el segundo caso NLOS la atenuación de la señal depende de otros factores aparte de la distancia entre Tx y Rx. En el caso de tener algún obstáculo entre

ambas antenas, la atenuación o pérdidas dependerán de las características de dicho objeto y de la frecuencia de la señal.

En este caso es muy difícil obtener un resultado exacto de la atenuación. Para este fin han de tenerse en cuenta diferentes factores tales como reflexión, penetración, difracción...

- Tanto Matrix Pencil como MUSIC son utilizados para la obtención del tiempo de llegada TOA. Con los resultados obtenidos podemos sacar una serie de conclusiones para ambos. Los dos métodos, Matrix y MUSIC, nos proporcionan el TOA, pero Matrix además nos proporciona la amplitud de la señal recibida. Dicha amplitud es necesaria para poder calibrar las distintas trayectorias tales como la directa y la reflexión en las diversas paredes de la habitación. Además como se puede apreciar tanto la sensibilidad como la resolución son también mayores en Matrix Pencil.
- Se presentan dos posibles métodos para la obtención y calibración del parámetro deseado. El primero será a través de la respuesta impulsiva del canal. Dicho método es el que implementamos en la realidad. Un segundo método, basado en la potencia recibida, lo vemos únicamente de forma teórica. Esto es debido a la imposibilidad de realizar físicamente las necesidades requeridas por dicho método. La técnica se basaría en el recubrimiento completo de una pared con una placa metálica. Se intentó la realización de dicho método con una pequeña plancha de metal, pero los resultados no fueron los esperados.
- El rayo directo entre transmisor y receptor es estudiado en dos situaciones diferentes. En la primera de ellas se comparan las medidas de dicha trayectoria tomadas en el exterior, con la simulación de Ray Tracing. La teoría dice que a medida que la distancia entre Tx y Rx aumenta, también aumentan las pérdidas de la señal recibida. En este primer caso no obtenemos los resultados esperados. Si bien en un primer momento para distancia pequeñas es verdad que a medida que aumentamos la distancia aumenta también la atenuación, se comprueba que a partir de unos 5 metros, a medida que aumenta esa distancia, la atenuación disminuye levemente. Esto puede estar motivado por la reflexión de la señal sobre el suelo, lo que causa un solapamiento entre el rayo directo y el reflejado, con la consiguiente disminución de la atenuación.

En el segundo caso comparamos la simulación, Ray Tracing, con las medidas realizadas en el interior de la habitación. En este caso podemos comprobar como los resultados teóricos coinciden con los prácticos. A medida que la distancia entre Tx y Rx aumenta, también aumenta la atenuación de la señal. Con estos resultados podemos obtener el factor de calibración  $A1/A2$  que puede ser utilizado para obtener los valores de la simulación a partir del algoritmo Matrix Pencil.

- A partir de la calibración de la reflexión se pueden deducir dos aspectos importantes. El primero de ellos es que teóricamente el rayo reflejado, con una distancia de 3 metros entre Tx y Rx y de 6 metros con respecto a la pared, debería de alcanzar la antena receptora a los 41.23 ns. En la práctica observamos como este tiempo de llegada TOA es de unos 47 ns. Esto significa que para

obtener los resultados de los algoritmos, Matrix Pencil y MUSIC, es necesario sumarle estos 5 o 6 ns de diferencia a los tiempos simulados con Ray Tracing.

El segundo aspecto importante tiene que ver con el ángulo de reflexión. La simulación dice que a medida que aumenta el ángulo de la antena transmisora desde  $0^\circ$  hasta  $90^\circ$ , mayor es la reflexión obtenida en Rx. Con los datos obtenidos de Matrix Pencil podemos deducir que en la práctica no se produce este comportamiento, es decir, existe un ángulo intermedio entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  para el cual la reflexión es máxima. A dicho ángulo se le dará el nombre de ángulo de máxima reflexión.

- Al comenzar a realizar dicho trabajo el parámetro buscado  $E_r$  tenía unos valores previos para cada una de las paredes sobre las que realizamos el estudio. La tabla 6.1 es un resumen de estos valores iniciales y de los finales calculados mediante los algoritmos

<b>PARED</b>	<b><math>E_r</math> ( previos)</b>	<b><math>E_r</math> (finales)</b>
<b>GLASS</b>	6.38	<b>3.06</b>
<b>CONCRETE</b>	4.95	<b>6.385</b>
<b>BLACKBOARD</b>	6	<b>6.05</b>
<b>STONE</b>	4.95	<b>2.385</b>

**Tabla 6.1  $E_r$  antes y después de la calibración**

El objetivo de este trabajo era la estimación de dicho parámetro para cada una de las paredes. Con los resultados obtenidos podríamos volver a realizar la misma operación para ir ajustando cada vez más el valor de dicho parámetro. Este proceso sería iterativo.

Un trabajo interesante para el futuro sería trabajar con estos algoritmos pero en otro rango de frecuencias. El rango utilizado en este trabajo ha sido entre 2.4 y 2.5 GHz. Los algoritmos implementados pueden variar la frecuencia en la que trabajan únicamente con el cambio de una serie de parámetros. Podría ser interesante la realización de estas mismas medidas, pero en la Universidad de Sevilla y con frecuencias distintas.

Las condiciones de trabajo del aula SN.22.2 no eran las más adecuadas, debido a las pequeñas dimensiones de la misma. Lo idóneo hubiera sido la realización de dichas medidas en un recinto cuyas medidas permitiera la llegada de las respectivas trayectorias en un tiempo lo suficientemente distante unas de otras para que no se produjese solapamiento. Con estos resultados podríamos observar claramente la procedencia de cada una de las trayectorias y sería ideal para realizar la calibración de las distintas paredes sin equivocación posible.