

Modelado de un canal de propagación basado en atenuación provocada por personas en ambiente cerrado

Cristian Ariel BOYKO
Instituto Universitario Aeronáutico
Facultad de Ingeniería
Grupo de investigación y desarrollo, Argentina
cboyko698@alumnos.iaa.edu.ar

Matias Fabián RIVILLI
Instituto Universitario Aeronáutico
Facultad de Ingeniería
Grupo de investigación y desarrollo, Argentina
mrivilli481@alumnos.iaa.edu.ar

Resumen— En este paper se describe la obtención del factor de atenuación producida por el número de personas dentro de un ambiente confinado.

El punto de partida de esta investigación radica en la realización de campañas de medición en el Instituto Universitario Aeronáutico para la obtención de diversos factores de atenuación en ambiente confinados [1].

Utilizando un equipo comercial de comunicaciones de 15 dBm de potencia de salida y un equipo receptor (notebook), se realizaron múltiples mediciones del nivel de potencia de señal electromagnética de señales wifi IEEE 802.11 g, en distintos casos de ocupación de un Aula específica por parte de personas.

Mediante el uso de herramientas estadísticas y matemáticas, se obtiene el factor de atenuación de potencia producido por el número de personas dentro de un ambiente confinado específico, el cual amplía los resultados del modelo de propagación indoor recomendado por la ITU [2].

I. INTRODUCTION

En la actualidad, el avance de las redes inalámbricas por sobre las cableadas es realmente notable. Esto se debe, entre otras cosas, a la facilidad de instalación de las mismas ya que evitan el traslado, instalación, empalme, conexión o mantenimiento de un medio físico de transmisión de la información.

Frente a este avance en dicha tecnología de comunicación, se empezaron a utilizar diversos modelos de propagación para el cálculo de cobertura y/o enlace. Los primeros modelos de propagación se basaron especialmente en cálculos y ecuaciones provenientes del modelado de estaciones de radio (HF, VHF, UHF) de principios del siglo XX, modelos exclusivamente del tipo outdoor.

Los modelos de propagación indoor, se diferencian de los outdoor ya que en los modelos para interior el entorno influye más que la distancia de separación entre las antenas.

Al analizar los modelos de propagación Indoor existentes [3][4] (one-slope; dual-slope; partitioned; Cost-231 multi-wallmodel and averagewalls), se puede destacar que ninguno de ellos hace referencia al cuerpo humano como factor de atenuación de la señal. Tomando como referencia el modelo de propagación de la ITU-R, en su recomendación P.1238-5 [2], se decidió investigar el comportamiento de la señal electromagnética ante la presencia del cuerpo humano en un ambiente confinado en el rango de frecuencias de 2,4 a 2,5 GHz, planteando como objetivo llegar a incorporarle al mismo un factor de atenuación producido por el número de personas dentro del ambiente estudiado.

II. PROCESO DE MEDICIÓN

Antes de comenzar con la campaña de mediciones con personas dentro de Aula, se realizaron diversas mediciones de atenuación con el software Wirelessmon®, pero con la presencia de bancos metálicos dentro del ambiente confinado. Estas pruebas permitieron elaborar un proceso de medición viable para obtener los datos necesarios en el menor tiempo posible de medición. Esta precaución fue tomada en cuenta ya que en el momento de realizar esta actividad con personas el tiempo de medición no puede ser demasiado extenso.

Es por ello, que primero se realizaron mediciones con bancos y sillas metálicas propias del Aula utilizada para las mediciones, y luego de ajustar la técnica de medición a utilizar, se procedió con personas.

En ambos casos (bancos y sillas metálicas, y personas) el Aula fue preparada de la misma forma para minimizar la posibilidad de atenuación o interferencias de la señal estudiada por parte de diferentes factores; es por ello que se decidieron diferentes pautas las cuales se detallan a continuación:

a) Dado el rango de frecuencias de la señal wireless en su norma 802.11 g (2.4 GHz a

2.5 GHz) y teniendo en cuenta que en el Instituto Universitario Aeronáutico (IUA) existen diferentes redes de tecnología inalámbrica (WLAN), se hizo un estudio previo del espectro utilizando el software Wirelessmon®, para conocer el nivel de potencia de dichas redes dentro del Aula a estudiar, ya que estas resultan ser interferentes a la señal estudiada. Como resultado del mismo, se determinó transmitir en el canal 1 (uno) de la banda de 2,4 a 2,5 GHz, ya que era un canal libre de fuentes de interferencias (otras redes WLAN en el área). De este modo se redujeron al mínimo las posibilidades de interferencia por parte de señales.

b) Para poder estudiar sólo la atenuación producida por el espacio libre o por la cantidad de bancos dentro del Aula, se llevó a cabo un relevamiento de las posibles fuentes de atenuación no deseadas en este estudio. Para ello, se comenzó con el alejamiento de bancos y sillas metálicas de las Aulas aledañas a la estudiada.

Se decidió esto ya que las paredes que separan las diferentes Aulas dentro del IUA (Instituto Universitario Aeronáutico) son de yeso prensado, un material que atenúa débilmente a la señal wireless, lo cual implicaría una atenuación o reflexión de la señal a estudiar por los bancos de Aulas circundantes, un factor no deseado a la hora de obtener datos de las mediciones lo más cercano a los reales.

c) a los efectos de que los encargados de tomar las mediciones no afectaran los resultados de las mismas con sus propios cuerpos, se decidió realizar el control de dicho equipo portátil de medición en forma remota a través de un segundo equipo. Dicho control remoto se realizó a una distancia mínima de 10 (diez) metros para que dichos cuerpos interfieran lo mínimo posible con la señal estudiada.

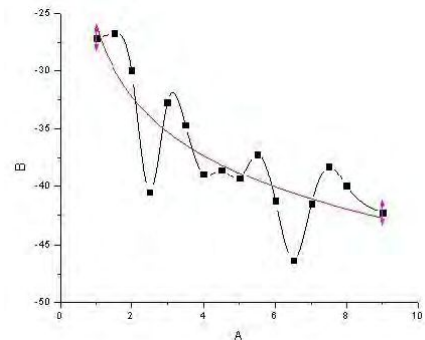
Para realizar las mediciones, el equipo de transmisión se dispuso en una mesa rectangular a una altura de 72 cm del suelo, a una separación de la pared del fondo de 33.5 cm y ubicada su antena en el medio del aula (a una separación de 2,38 metros de cada pared lateral).

Luego, se tabuló el largo del Aula cada medio metro (50 cm) con diferentes marcas en el piso, excepto el primer metro de distancia y los dos últimos de medición (7 y 8 metros), esto se debe a que se amplió la resolución en los metros donde previamente se habían medido picos o muy altos o muy bajos de potencia que se alejaban de la media medida previamente.

Se decidió, con el software Wirelessmon®, medir el nivel de potencia de señal por el transcurso de 1 (uno) minuto y 30 (treinta) segundos a diferentes distancias el equipo transmisor, llegando a los 8 (ocho) metros de separación máxima. Este tiempo de medición permitió obtener en promedio 70 (setenta) mediciones del nivel de potencia de la señal wireless en cada punto de medición; número de muestras aceptable para que el promedio de las mismas converja al valor real medio en cada punto de medición.

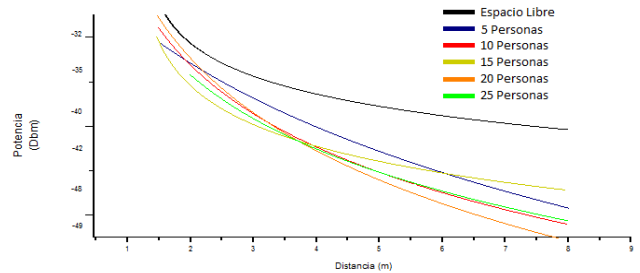
Luego de finalizar con el proceso de medición anterior, se decidió observar el nivel de atenuación que produce la presencia de bancos dentro del Aula estudiada. Para ello, se introdujeron 5

(cinco) bancos y fueron ubicados en línea a una distancia de 2 metros de separación del equipo transmisor y separados entre sí a una distancia de 30 (treinta) cm. El nivel de potencia de señal medido con 5 bancos puede observarse en el [gráfico 1].



[gráfico 1]

Al finalizar con las mediciones con 5 bancos, se prosiguió con 10, 15, 20 y 25 bancos; y luego con personas, utilizando la misma metodología de medición. Los datos obtenidos pueden observarse en el [gráfico 2].



[gráfico 2]

Dicha metodología de medición utilizada con bancos y sillas metálicas también fue aplicada para las mediciones con personas dentro del ambiente confinado.

III. TRATAMIENTO DE DATOS

A los datos obtenidos en las dos campañas de medición se le aplicaron herramientas provenientes de la estadística para poder trabajar con los promedios de los valores de potencia de señal registrados.

Obtención del factor de atenuación

El software Origin 8® permite introducir una serie de valores en un cuadro de doble entrada en donde posteriormente este programa realiza un proceso de “fitting”(rellenado) para continuar con la regresión matemática necesaria para la obtención de la ecuación asociada a dichos valores.

Es necesario seleccionar un tipo específico de ecuación para que el software pueda calcular los coeficientes que esta ecuación

posee y, de ese modo, poder abarcar los datos cargados en la tabla de doble entrada. El tipo de ecuación seleccionada fue:

$$f(x) = A - B \log(x + C)$$

Este modelo de ecuación fue seleccionado ya que se asemeja al utilizado por la recomendación de la ITU [2].

Para la obtención del factor de atenuación, se realizaron previamente restas aritméticas entre funciones de coberturas, lo cual consiste en restar “punto a punto” las matrices de niveles de potencia obtenidas.

$$L_{(5 \text{ personas})} = P_{rx(5 \text{ personas})} - P_{rx(0 \text{ personas})}$$

$$L_{(10 \text{ personas})} = P_{rx(10 \text{ personas})} - P_{rx(0 \text{ personas})}$$

$$L_{(15 \text{ personas})} = P_{rx(15 \text{ personas})} - P_{rx(0 \text{ personas})}$$

$$L_{(20 \text{ personas})} = P_{rx(20 \text{ personas})} - P_{rx(0 \text{ personas})}$$

$$L_{(25 \text{ personas})} = P_{rx(25 \text{ personas})} - P_{rx(0 \text{ personas})}$$

	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	8
0 personas	-29,1	-32,07	-35,2	-32,51	-36,2	-37	-38,29	-39,96	-39,93	-42,49	-46,11	-34,16	-42,76
5 personas	-32,63	-35,34	-34,48	-35,42	-40	-40,7	-41,22	-42,48	-43	-46	-43,2	-46	-47
10 personas	-30,47	-33,26	-40,5	-39,89	-43,39	-37,91	-40,57	-35,17	-45,5	-52,86	-49	-49,53	-46
15 personas	-32	-36,06	-36,73	-43,08	-37,81	-44,39	-44,44	-39,04	-45	-37,24	-49,52	-48,13	-43,5
20 personas	-31	-31,07	-41,18	-32,07	-39,13	-44	-44,17	-48,06	-44,69	-48,43	-48,93	-48,22	-47,37
25 personas	-36,07	-37,45	-37,29	-35,54	-36,86	-38,64	-37,93	-44,86	-46,29	-44,49	-48,03	-53,19	-39,03

RESTAS	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	8
Att 5 P	3,529	3,273	-0,72	2,902	3,8	3,696	2,932	2,521	3,071	3,514	-2,91	11,84	4,243
Att 10 P	1,369	1,186	5,3	7,379	7,191	0,913	2,28	-4,79	5,571	10,38	2,886	15,37	3,243
Att 15 P	2,9	3,993	1,533	10,57	1,61	7,393	6,153	-0,92	5,071	-5,24	3,404	13,97	0,743
Att 20 P	1,9	-1	5,979	-0,45	2,933	7	5,887	8,1	4,761	5,943	2,817	14,07	4,613
Att 25 P	6,969	5,377	2,09	3,021	0,662	1,643	-0,35	4,9	6,357	2	1,92	19,03	-3,72

[gráfico 3]

En el [gráfico 3] podemos observar, en la parte superior, la matriz de nivel de señal obtenida en las diversas mediciones; mientras que en la tabla inferior se expresan los resultados de realizar las diferencias destacadas en el párrafo anterior.

Finalizado este proceso matemático, tenemos como resultado las ecuaciones de atenuación de los distintos tipos de ocupación del Aula por parte de cuerpos atenuantes (bancos metálicos y/o personas). Para obtener finalmente el factor de atenuación producido por estos cuerpos en donde los mismos sean una variable de dicha expresión, se introdujo en el Origin 8® el resultado de dicha resta de funciones, pero se seleccionó el siguiente modelo de función para el futuro factor de atenuación:

$$f(x) = A \log(x - B)$$

Los resultados obtenidos se representan a continuación

NUMERO DE PERSONAS DENTRO DEL AULA	FACTOR DE ATENUACIÓN PRODUCIDO POR PERSONAS PRESENTES DENTRO DEL AULA
5 Personas	$L_{(5 \text{ personas})} = -1,63 \ln(x - 1,8204)$
10 Personas	$L_{(10 \text{ personas})} = -0,3422 \ln(x - 3,004)$
15 Personas	$L_{(15 \text{ personas})} = 1,5 \ln(x + 0,019)$
20 Personas	$L_{(20 \text{ personas})} = 0,469 \ln(x - 3,7902)$
25 Personas	$L_{(25 \text{ personas})} = 1,5 \ln(x + 0,1563)$

Factores de atenuación de señal producida por el número de bancos dentro del Aula [tabla 1]

Con estos factores de atenuación a encontrar el factor de atenuación producido por el número de personas dentro del Aula estudiada.

Procedemos con la obtención del factor de atenuación en función a “n” cantidad de personas dentro del ambiente confinado.

Luego de analizar ecuaciones obtenidas y teniendo en cuenta el error producido, se ha decidido en primer lugar fijar la constante dentro del logaritmo aplicando el procedimiento de promedio de la misma:

$$Cte_{(promedio)} = \frac{(-1,8204) - 3,004 + 0,019 - 3,7902 + 0,1563}{5}$$

$$Cte_{(promedio)} = -1,688$$

Para calcular el error de tomar a dicha constante como parte de la ecuación de final, se aplicaron herramientas provenientes de la estadística y probabilidad. Se calcula la varianza de las muestras analizadas:

$$\sigma^2 = \frac{(-1,8204)^2 + (-3,004)^2 + (0,019)^2 + (-3,7902)^2 + (0,1563)^2}{5}$$

$$\sigma^2 = 5,6$$

Obtención de desviación estándar:

$$\text{Desviación estándar} = \sigma$$

$$\sigma = 2,36$$

La información que brinda la desviación estándar es vital para comprender el nivel de error que posee el promedio frente a los valores reales de cada muestra. Al sumarle y restarle al promedio el valor de tres veces la desviación estándar, se pretende englobar en dicho rango de valores, la totalidad de las muestras tomadas para calcular dicho promedio. Si realizamos esto, se tiene que el rango de valores va desde -8,77 a 5,41, abarcando de ese modo la totalidad de las muestras utilizadas.

Lo siguiente a resolver fue analizar qué proceso utilizar con la constante fuera del logaritmo. La mejor opción fue introducir valores en Origin 8® y obtener así un factor que contenga como variable al número de personas dentro del Aula.

Al introducir los valores en el Origin 8® se obtuvo la siguiente expresión:

$$f_{(n)} = e^{-1,22+0,22634n-0,00526n^2}$$

Donde “n” es el número de personas situadas dentro de Aula

En cada una de las funciones obtenidas en la [tabla 1] está implícito el número de personas presentes en el Aula que permitieron la conformación de las distintas funciones obtenidas. Es por ello, que dentro de las dos constantes de cada función (una dentro del logaritmo y otra como factor del mismo) debía estar presente el número de personas. Se decidió fijar la constante dentro del logaritmo como el promedio de los valores obtenidos en dicha constante dejando ese término independiente de “n”, y mediante otro proceso de regresión con los valores del factor que queda fuera del logaritmo, obtener una nueva expresión a ubicar como factor del logaritmo que sea dependiente de “n”.

Finalmente, la expresión que determina la atenuación producida por el número de personas dentro del aula es la siguiente:

$$L_{(x,n)} = e^{-1,22+0,22634n-0,00526n^2} \log(x - 1,688)$$

Luego de un proceso de ajuste de constantes de las ecuaciones devueltas por el software matemático, los factores de atenuación y la ecuación final del nivel de potencia de señal teniendo en cuenta el número de personas dentro del Aula se presentan a continuación:

$$e^{2,34+0,0534n} \log(x - 0,2656) \quad [i]$$

$$e^{-1,21+0,12n} \log(x - 0,5) \quad [ii]$$

$$P_{rx} = P_{tx} - 20 \log(f_{(MHz)}) - 9,24 \log(x - 0,76) + 15,5 - e^{1,21+0,12n} \log(x - 0,5) \quad [iii]$$

x = separación entre equipo receptor y transmisor
n = número de bancos/personas

- [i] Factor de atenuación (bancos metálicos)
- [ii] Factor de atenuación (personas)
- [iii] Nivel de potencia de señal teniendo en cuenta el número de personas.

IV. CONCLUSIONES

El cuerpo humano atenúa de manera considerable a la señal electromagnética wireless en su norma 802.11 g, pero de manera diferente que cuerpos metálicos (estudio a futuro).

Es posible obtener un modelo de propagación indoor que contemple la presencia de personas dentro de un ambiente confinado, teniendo un error de máximo de ±8,7 dB.

A continuación, se representa en los gráficos siguientes, los datos de niveles de señal medidos [gráfico 4] y los calculados con la función obtenida [gráfico 5].

	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
5	-35,4	-40	-40,7	-41,2	-42,4	-43	-46
10	-39,8	-43,4	-37,9	-40,5	-35,1	-45,5	-52,8
15	-43	-37,8	-44,4	-44,4	-39	-45	-37,2
20	-32	-39,1	-44	-44,1	-48,	-44,6	-48,4
25	-35,5	-36,9	-38,6	-37,9	-44,8	-46,2	-44,4

[gráfico 4]

	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
5	-39,7	-40,5	-41	-41,5	-41,9	-42,3	-42,7
10	-39,9	-40,7	-41,3	-41,8	-42,2	-42,6	-43
15	-40,2	-41,1	-41,7	-42,3	-42,8	-43,2	-43,6
20	-40,7	-41,8	-42,5	-43,1	-43,7	-44,2	-44,7
25	-41,9	-43,1	-44	-44,8	-45,5	-46,1	-46,7

[gráfico 5]

Si bien solo se muestran los datos de 3 a 6 metros en ambos gráficos, puede destacarse el mayor error registrado (8,7dB) a una distancia de 3 metros con 20 personas dentro del Aula.

V. DOMINIO DE LAS VARIABLES DE LA ECUACIÓN FINAL

El dominio según la ecuación:

$$P_{rx} = P_{tx} - 20 \log(f_{(MHz)}) - 9,24 \log(x - 0,76) + 15,5 - e^{-1,21+0,12n} \log(x - 0,5)$$

Es el siguiente:

$$n \geq 1$$

Esto quiere decir que es válida para medir el nivel de señal presente en el ambiente confinado con una persona o más dentro del mismo. Origen del dominio: lógica del modelo

$$x > 0,5$$

Se puede observar que el modelo solo es válido para medir niveles de señal a una distancia mayor a 0,5 metros. Origen del dominio: matemático

VI. BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA

[1] Instituto Universitario Aeronáutico, Trabajo Final de Grado “Modelo de propagación COST-WALL 231 para ambientes confinados”, Argentina, Junio 2009.

[2] ITU, P.1238-5 “Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones en interiores y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 900 MHz a 100 GHz”, 2007.

[3] Cassio Bento Andrade and Roger Pierre FabrisHoefel, “IEEE 802.11 Wlans: A Comparison on indoor coverage models”, Brasil, 2005.

[4] BahrinSujak, Deepak Kumar Ghodgaonkar, BorhanuddinMohd. andSabiraKhatun, “Indoor Propagation Channel Models for WLAN 802.11b at 2.4GHz ISM Band”, Malasia, 2005

VII. DATOS DE CONTACTO

Juan Galleguillo. Instituto Universitario Aeronáutico. Avenida Fuerza Aérea 6500, Km 6 1/2, jgalleguillo@iua.edu.ar