

CÁLCULO DE LA ZONA DE EXCITACIÓN PARA DIVERSOS TÚNELES A LA FRECUENCIA DE 2.1 GHz

José María Molina García-Pardo, José Victor Rodríguez Rodríguez y Leandro Juan-Llácer

Dpto. Tecnologías de la Información y Comunicaciones

Universidad Politécnica de Cartagena

Antiguo Hospital de Marina, 30202 Cartagena

E-mail: josemaria.molina@upct.es, leandro.juan@upct.es

ABSTRACT

This work is concerned with the study of the “Excitation Zone” in tunnels. Ray launching with Uniform Theory of Diffraction are used to simulate Non-Line-of-Sight (NLOS) situations in several tunnels. Two methods are used to calculate the distance call “Excitation Zone”, in which the propagation parameters such as path loss, time-delay and angular spread, behave in a different way.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones móviles se están desarrollando de forma espectacular en estos últimos años. La calidad de estas comunicaciones vía radio depende del entorno de propagación. Ha sido por tanto objeto de estudio la propagación en muy diferentes entornos (rural, urbano, suburbano, túneles,..) [1] con el fin de desarrollar modelos de propagación que ayuden a la planificación de estos sistemas.

En concreto, las comunicaciones en túneles que hace años no se consideraban imprescindibles están siendo demandadas, debiendo satisfacer un cierto grado de calidad. Existen diversas técnicas para analizar la propagación en estos entornos como puede ser el estudio modal y el trazado de rayos [2] [3]. En estos estudios se ha puesto de manifiesto el interés que existe por la llamada zona de excitación (“Excitation Zone”) [3], dentro de la cual diferentes parámetros como las pérdidas por propagación, el *time-delay spread* y el *angular spread* experimentan variaciones significativas.

El objetivo de este trabajo es delimitar esta zona de excitación para diferentes túneles rectangulares, utilizando una herramienta de trazado de rayos.

2. ENTORNO DE PROPAGACIÓN

La figura 1 muestra la planta de un túnel genérico de anchura 2D. Fuera de éste se sitúa un transmisor de 4 metros de altura a una distancia R (100 m) y ángulo φ de la entrada del mismo. El receptor de 2 metros se sitúa a una distancia d de la pared del túnel, es decir, en el centro de una de las dos vías de las que consta el túnel.

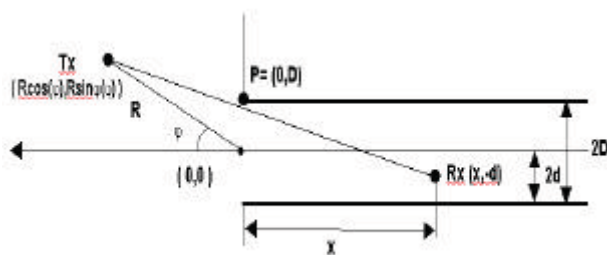


Figura 1. Planta de un túnel ideal.

3. MODELO DE PROPAGACIÓN

Se ha empleado lanzamiento de rayos junto con Óptica Geométrica y la Teoría Uniforme de la Difracción (UTD) [4], donde los coeficientes de difracción se modificaron según Luebbers [5]. Los distintos tipos de contribuciones que se han tenido en cuenta son los siguientes:

- Rayo directo y su reflexión el suelo.
- Rayo reflejado en las paredes.
- Rayos difractados directos.
- Rayos difractados-reflejados.

El campo total en el receptor es la suma de todas las contribuciones:

$$E_{TOT} = \sum_i E_i \quad (1)$$

Se ha estudiado el número de reflexiones necesarias para obtener un resultado fiable, y se ha fijado en 10 el número máximo de reflexiones. Un número mayor a esto supondría un coste computacional mucho más elevado y no proporcionaría una mejora en la solución.

Se ha simulado una transmisión a 2.1 GHz con polarización vertical y antenas omnidireccionales. En cuanto a las paredes, se ha supuesto una conductividad de $\sigma=0.01$ S/m y una permitividad relativa $\epsilon_r=5$. El factor de propagación se define como:

$$PF(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{|E_{TOT}|}{|E_0|} \right) \quad (2)$$

4. LA ZONA DE EXCITACIÓN

Para una transmisión en el interior de un túnel en situación de visión no directa (NLOS) se define zona de excitación a aquella que va desde la entrada del túnel hasta el punto en el que la energía de los rayos difractados supera a los reflejados en las paredes.

La figura 2 muestra el Factor de propagación calculado con la expresión (2), en el interior de un túnel de 8.5m de ancho.

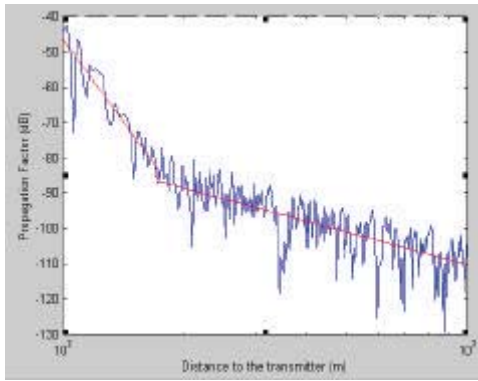


Figura 2. Factor de propagación en un túnel de 8.5m desde la entrada hasta 100 dentro del túnel.

Se observa que el comportamiento de estas pérdidas puede ser aproximado a dos rectas con pendientes diferentes, siendo la longitud de la primera la zona de excitación.

Una primera aproximación para encontrar la longitud de la zona de excitación es calcular el punto que minimiza el error entre las pérdidas y el modelo de dos pendientes.

En este trabajo, además de esta primera solución, se analizan con la herramienta de trazado de rayos las diferentes contribuciones de los rayos recibidos en el receptor, y se elige como zona de excitación aquella en la que los rayos difractados superan a los reflejados en las paredes.

5. SIMULACIONES

Se han simulado túneles de distintos anchos: 7m, 8.5m, 10m y 13m. Para cada uno de estos túneles se ha modificado el ángulo de la línea que une el transmisor con el túnel ϕ entre 15° y 70° . Se observa que si se expresa el valor obtenido de la zona de excitación con respecto a la dimensión x de la figura 1, el resultado es una línea recta. Geométricamente se obtiene la relación entre ϕ y x . La dimensión x se puede entender como la distancia desde la entrada del túnel a partir de la cual se pierde la visión directa con el túnel.

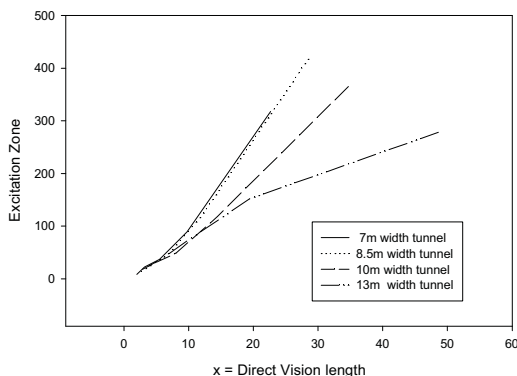


Figura 3. Zona de excitación calculada mediante la energía de las contribuciones reflejadas y difractadas.

Se observa que para los 4 túneles, la relación entre x con la zona de excitación es lineal. Esta línea tendrá una pendiente que indica cuánto aumenta la zona de excitación con respecto a la distancia a partir de la cual el receptor deja de tener visión directa con el transmisor.

Así mismo, cuanto mayor sea la anchura del túnel, esta pendiente será más suave.

Si se comparan estos resultados con respecto a los obtenidos calculando el zona de excitación mediante las rectas de regresión, se observa que son muy similares (ver figura 4)

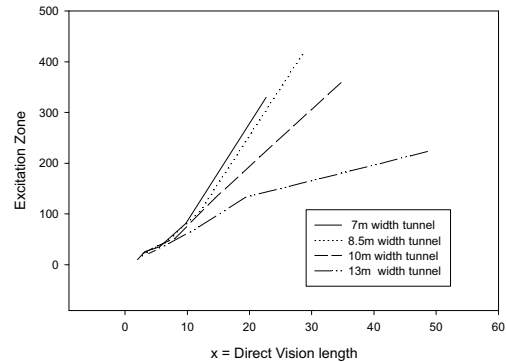


Figura 4. Zona de excitación calculada mediante la aproximación de dos pendientes.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado la zona de excitación de diferentes túneles mediante dos métodos. El primero de ellos, más matemático, aproximando las pérdidas de propagación a dos rectas y minimizando el error entre los datos y ambas rectas; el segundo método, observando el comportamiento desde un punto de vista más físico que el primero, ha sido aplicar la definición de zona de excitación, en la que los rayos reflejados superan a los difractados.

Se concluye que los resultados de ambos métodos son satisfactorios y extremadamente similares, aun habiendo seguido filosofías distintas. También se concluye que la pendiente disminuye con la anchura del túnel y que la relación entre el parámetro x y la llamada zona de excitación es aproximadamente lineal.

REFERENCIAS

- [1] COST 259: European Co-operation in Mobile Radio Reserach, Ed. Luis M. Correia, "Wireless Flexible Personalised Communications", John Wiley&Sons, 2001
- [2] F. Martí Pallarés, F. J. Ponce Juan y L. Juan-Llácer, "Analysis of Path Loss and Delay Spread at 900 MHz ans 2.1 GHz While Entering Tunnels," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, Vol. 50, no. 3, pp. 767-776. May 2001.
- [3] Ph. Mariage, M. Lienard and P. Degauque, "Theoretical and Experimental Approach of the Propagation of High Frequency Waves in Road Tunnels," *IEEE Trans. on Antennas and Prop.*, vol. 42, no. 1, pp. 75-81, January 1994.
- [4] R. G. Kouyoumjian and P. H. Pathak, "A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface," *Proc. IEEE*, vol. 62, pp 1448-1461, Nov 1974
- [5] R. J. Luebbers, "Finite conductivity unifor GTD versus jnife edge diffraction in prediction of propagation path loss," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-32, pp. 70-76, Jan. 1984.