

# Análisis del Modelo de Radio Canal Aeronáutico para la Banda de 40 GHz.

Fernando Ulloa V J. A. Delgado Penin  
Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago - Chile  
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. UPC.  
Taller Modelado de Sistemas de Telecomunicaciones.  
UPC-D4-Barcelona-08034- Fax.:34 (93) 4017200  
Fernando.ulloa@usa.net - Delpen@tsc.upc.es

**Abstract.-** En esta comunicación se lleva a cabo un primer análisis de un modelo de radio canal aeronáutico para comunicaciones entre estaciones embarcadas en aeronaves (plataformas estratosféricas) y estaciones terrestres fijas. La banda de soporte es la de 40 Ghz.

## I. Introducción

Se propone un modelo de radio canal aeronáutico que puede caracterizar situaciones de aparcamiento, navegación aérea, despegue y aterrizaje. Se discuten casos típicos para diferenciar situaciones favorables y desfavorables. Se presenta un modelo de simulación de canal.

## II. Características del Modelo de Radiocanal Aeronáutico.

El modelo de partida es el correspondiente a un WSSUS que contempla dispersiones y atenuaciones variables con el tiempo. Dicho modelo queda caracterizado por la función dispersión asociada a estos canales [1] que se formula así:  $P_s(\tau, f_D)$  donde  $\tau$  indica el "delay excess" y  $f_D$  "doppler frequency". Por otra parte,

la función  $P_s$  es proporcional a la "pdf" (función densidad de probabilidad) bidimensional asociada  $p(\tau, f_D)$  y  $\tau = \Delta d / c$ , son parámetros físicos de distancia y velocidad de la luz, respectivamente.

La frecuencia Doppler estará dentro del rango de  $-f_{Dmax} \leq f_D \leq +f_{Dmax}$  donde el valor máximo de la frecuencia Doppler,  $f_{Dmax}$ , es proporcional a la frecuencia portadora  $f_0$ , y la velocidad de la aeronave,  $v$ :  $f_{Dmax} = v \times f_0 / c$ . [3] Para el enlace aire-aire se podrá sumar la velocidad de la otra aeronave, en el peor de los casos. En lo que sigue se admite independencia entre las variables que condicionan la función dispersión:  $P_s(\tau) \cdot P_s(f_D)$ .

### A.- Escenario de Aparcamiento en Tierra

**Doppler:** A 40 Ghz. y con velocidades de la aeronave entre: 0 y 5,5 m/s, se admite un "fading lento". En la peor situación se podría admitir que los ecos llegan con idéntica distribución desde todas las direcciones y el ancho del haz de dispersión sería de  $360^\circ$ .

**Retardo:** Para un ambiente urbano (el caso peor) y con una  $\Delta d = 210$  m. habrá  $0,7 \mu\text{seg.}$  de retardo.

**Tipo de "fading":** En el caso peor, sólo se reciben

ecos de la señal (dispersión) y se puede admitir un canal multiplicativo caracterizado por "fading Rayleigh".

### B.- Escenario de plataforma en vuelo.

**Doppler:** A la misma frecuencia que antes y con velocidades de desplazamiento de la aeronave entre 26 y 39 m/s se tiene un "fading" rápido, para los enlace tierra-aeronave y aeronave-aeronave.

El ancho del haz será del orden de  $\beta = 3.5^\circ$  admitiendo una dispersión distribuida uniformemente en el haz. Figura 1.

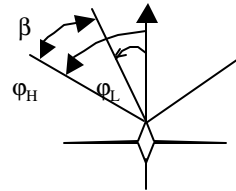


Figura 1.  $\phi_L < \phi < \phi_H$ ;  $\beta = \phi_H - \phi_L$

**Retardo:** Un análisis geométrico simple nos revela que  $\Delta d \approx h / c$  para enlaces tierra-aeronave y  $\Delta d \approx 2h / c$  para los enlaces aeronave-aeronave, con  $h$  la altitud de vuelo de la nave. Para una altitud de 20 Km. se obtendrá un retardo de  $\tau = 66 \mu\text{s}$  para (tierra-aero) y  $\tau = 132 \mu\text{s}$  para (aero-aero). [1]y[2] Figura 2.

En intervalos de transmisión de símbolos menores a  $T_s \leq 66 \mu\text{s}$  (para el caso tierra-aero) se puede considerar un modelo de canal con "fading" selectivo.

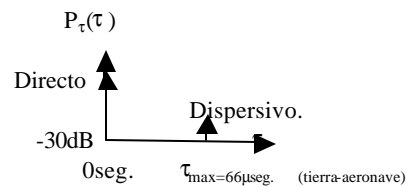


Figura 2.

**Tipo de "fading":** Debido a la presencia de las señales directa y reflejada pueden considerarse dos

modelos: uno de “fading” multiplicativo ( flat fading) y otro de “fading” selectivo.[3]

El primero puede modelarse por un proceso de Rice y el segundo por un filtro FIR variable en el tiempo. En el caso de  $K=2$  (el caso peor) será “fading” Rayleigh. Y con un factor de  $K = 15$  será “fading” Rice.

**C.- Despegue y Aterrizaje (Aire-Tierra).**

En este caso y para velocidades de la aeronave entre 10 y 20 m/s, el retardo a contemplar está comprendido entre  $\tau = 6$  y  $8 \mu s$ . Y sus distancias  $\Delta d$  estarán entre 1.8 y 2.4 Km.

**III - Modelo de simulación del radiocanal.**

Se presentan dos modelos: para el “fading” plano y para el “fading selectivo.

El primero sigue los pasos del WSSUS donde la respuesta al impulso puede formularse así

$$h(\tau, t) = \lim_{N \rightarrow \infty} (1/\sqrt{N}) \sum_{n=1}^N \exp(j(\theta_n + 2\pi f_{Dn} t)) \cdot \delta(\tau - \tau_n) \quad (1)$$

Se tiene que,  $t$  es tiempo absoluto y los  $\tau_n$  son los retardos.

$\theta_n$  debe estar entre  $(0 \leq \theta_n < 2\pi)$ ;

$f_D$  entre  $(-f_{Dmax} < f_{Dn} < f_{Dmax})$ ;

y  $\tau_n$  entre  $(0 \leq \tau_n < \tau_{max})$ .

Estas variables se deben generar antes de correr la simulación, y se debe recordar que  $p(\tau, f_b) \sim P_s(\tau, f_b)$  y  $p(\theta) = 1/2\pi[2]$ . Una interpretación de  $h(\tau, t)$  es la de una superposición de  $N$  ecos, donde cada eco o rebote está caracterizado por una fase aleatoria,  $\theta_n$  y un retardo aleatorio,  $\tau_n$ . Según el teorema del limite central (cuando  $N > 6$ ),  $h(\tau, t)$  es un Proceso Gaussiano Complejo y por lo tanto la envolvente tiene una fdp Rayleigh[3].

**A.- Caso “Fading” Plano.**

En esta situación el modelo de  $h(\tau, t)$  se formula así:

$$h(\tau, t) = \lim_{N \rightarrow \infty} (1/\sqrt{N}) \sum_{n=1}^N \exp(j(\theta_n + 2\pi f_{Dn} k T_s)) \quad (2)$$

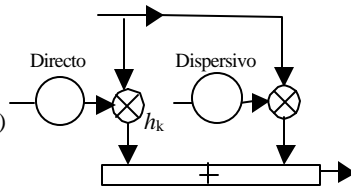
fase                      Doppler

Con :  $t = k \cdot T_s$  ;  $\tau_n = 0$  ;  $k$  es el índice de temporal, y  $T_s$  es la duración del símbolo.

Este modelo considera dos rayos; uno directo y uno dispersivo.

$E[h_k] = 0$   
 $E[|h_k|^2] = 1$

$\exp(2\pi f_{Dn} k T_s)$   
 $h_k \in \mathbf{C}$   
 $a, c \in \mathbf{R}$



El modelo de rayo directo se formula como:

$$a \cdot \exp(2\pi f_{Dn} k T_s)$$

donde  $a$  es real (amplitud del rayo).

En cuanto a el rayo representativo de la dispersión su expresión es:  $c \cdot h_k$ .

donde  $c$  es real y permite compensar el factor

$$E[|h_k|^2] = 1$$

Como el proceso a generar es de Rice, el factor definitorio  $K = a^2/c^2$  expresado en dB es

$10 \log_{10}(a^2/c^2)$  dB debe satisfacer:

$$E[|h_k^{Rice}|^2] = a^2 + c^2 = 1.$$

**B.- Caso “Fading” selectivo en frecuencia.**

En este caso el modelo de simulación es el de un filtro FIR con ganancias variables en el tiempo (procesos gaussianos complejos). Figura 3.

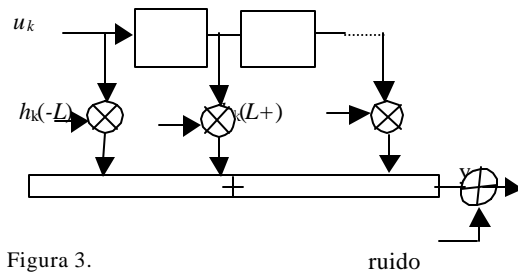


Figura 3.

Las ganancias variables en este caso se representan por los coeficientes  $h_k(l)$ , donde  $k$  es el índice temporal asociado a las muestras de los procesos gaussianos complejos y  $l$  es el índice de las ramas. La densidad espectral de potencia asociada a los espectros Doppler tiene la siguiente expresión:

$$P_{ff}(f_D) = 1/(\pi f_{Dmax} \sqrt{1 - (f_D/f_{Dmax})^2}) \quad \text{si } |f_D| \leq f_{Dmax} \quad (7)$$

**IV.- Resultados y Conclusiones.**

Se ha propuesto un modelo general que tiene en cuenta el mayor número de situaciones posibles. Es un modelo basado en estructuras asociadas con “fading” multiplicativo y con “fading” selectivo (modelos FIR variables en el tiempo) y se están obteniendo unos primeros resultados de caracterización en la banda de 40 Ghz.

**Referencias:**

[1] P. A. Bello, “Aeronautical Channel Characterization”, IEEE, Tr. Comm., vol, COM-21, no. 5, pp 548-563. May. 1973.  
 [2] J. Painter, G. Gupta, “Multipath Modeling for Aeronautical Communications”, IEEE, Tr. Comm., vo, COM -21, no. 5, pp 658 -662. May. 1973.  
 [3] S. M. Elnoubi "A Simplified Stochastic Model For The Aeronautical Mobile Radio Channel", IEEE, Veh. Techn. Conf., vol. 4, 1992, pp. 960-963.