

# Diversidad Espacial por Igual Ganancia como Contramedida a Desvanecimientos Lentos y Periodo Corto en un Canal Rayleigh.

Everardo INZUNZA<sup>1</sup>, Juan M HERNÁNDEZ<sup>2</sup>, E Efrén GARCÍA<sup>1</sup>, Rosa M LÓPEZ<sup>1</sup>,  
Oscar R LÓPEZ<sup>1</sup>, Marcial CASTRO<sup>1</sup>, Raúl CASILLAS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California  
Ensenada, Baja California, CP 22860, México

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California  
San Quintín, Baja California, C.P. 22920, México

{einzunza; juan\_miguel; eegarcia; roslopez; olopez; castrom; rcasillas}@uabc.edu.mx

**RESUMEN** - Dadas las características dinámicas del canal radio se producen una serie de efectos indeseados, tales como los desvanecimientos por multitrayectoria. En este trabajo se analiza la técnica de diversidad espacial por igual ganancia, la cual constituye una de las contramedidas utilizadas para mitigar tal efecto.

Se realizó una simulación en Matlab para modelar el canal y la implementación de la diversidad espacial como contramedida, obteniéndose estadísticas tales como: velocidad de cruce de nivel (LCR), duración promedio de desvanecimiento (ADF) y tasas de error de bit (BER) para diferente número de antenas receptoras.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que al aplicar la diversidad espacial se disminuyen los desvanecimientos y por lo tanto, el BER.

## **Palabras clave:**

Canal Rayleigh, Diversidad Espacial, Combinación por igual ganancia, agrupamiento de antenas.

## **I.- INTRODUCCIÓN**

El canal radio es un medio hostil, el cual dista mucho del canal blanco aditivo gaussiano (AWGN), debido a que presenta propagación multitrayectoria, lo

cual significa que la señal transmitida sigue muchos caminos para llegar al punto receptor. Dichas señales se pueden considerar como réplicas que arriban con diferentes atenuaciones, fases y retardos, por el efecto de mecanismos, tales como: la reflexión, difracción y dispersión, por lo que al sumarse dichas replicas dan origen a una señal con desvanecimientos.

En el canal radio se dan simultáneamente desvanecimientos de periodo corto y periodo largo: Los desvanecimientos de periodo corto se manifiestan como cambios abruptos en la amplitud y fase de la señal cuando se tienen desplazamientos cortos (algunas longitudes de onda). Mientras que los desvanecimientos de periodo largo se producen al tener desplazamientos grandes y se dan de manera gradual.

Por otro lado, en lo que respecta a los retardos de propagación se tiene que éstos producen un ensanchamiento en la señal transmitida, la diferencia entre el tiempo de llegada de la primera réplica y de la última se conoce como máximo retardo en exceso ( $T_m$ ). A partir de este retardo se obtiene el ancho de banda de coherencia del canal.

Si el ancho de banda de la señal transmitida es mucho menor que el ancho de banda de coherencia se tiene un canal no selectivo en frecuencia. Un canal no selectivo en frecuencia presenta las mismas características a lo largo de todo el espectro de la señal.

El canal radio es un sistema dinámico cuya respuesta varía con el tiempo. El tiempo durante el cual la respuesta del canal permanece constante se conoce como tiempo de coherencia ( $T_d$ ). Este tiempo determina la duración mínima de símbolo de la señal transmitida para evitar la interferencia íter-simbólica (ISI). Si el tiempo de símbolo es menor que el tiempo de coherencia se tiene un canal con desvanecimientos lentos, de lo contrario se tendrá un canal con desvanecimientos rápidos.

Para este trabajo se consideró un canal no selectivo en frecuencia tipo Rayleigh con desvanecimientos lentos y de periodo corto.

Una manera interesante de contrarrestar tales efectos del canal, es mediante la implementación de la diversidad espacial, que consiste en tener un agrupamiento de antenas en el receptor. Esto se hace con el fin de poder tomar muestras incorreladas, por tanto con muy poca probabilidad de que presenten desvanecimientos en el mismo instante de tiempo. Por lo que al sumarse en fase, la resultante no presentará desvanecimientos tan profundos.

La técnica de diversidad espacial que se utilizó es la que se conoce como combinación por igual ganancia (EGC), en esta técnica se les asigna el mismo peso a todos los brazos o derivaciones. Además se muestra de manera conjunta

la simulación del canal radio y la aplicación de la contramedida antes descrita, logrando estadísticas relevantes para determinar la calidad de recepción y el desempeño de la técnica EGC. Finalmente con los datos obtenidos se llevo a cabo el modelado y simulación de la aplicación de la técnica EGC.

## II.- MODELO DEL SISTEMA

Para llevar a cabo el modelado del canal radio se sumaron un número finito de trayectorias ( $n$ ) con retardos ( $\tau_n$ ) distribuidas de manera exponencial con tasa promedio  $\lambda$ , la cual depende del entorno considerado. Bajo dicha consideración la señal en el receptor es la siguiente

$$y(t) = \sum_n a_n(t) s(t - \tau_n) \quad (1)$$

donde:

$a_n(t)$  - Envolvente compleja de la  $n$ -ésima trayectoria.

$s(t)$  - Envolvente de la señal transmitida.

$$pdf(\tau_n) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Los ángulos de incidencia son aleatorios y con distribución uniforme entre 0 y  $2\pi$  radianes.

$$pdf(\theta_n) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi} & (0, 2\pi) \\ 0 & \text{otro} \end{cases} \quad (3)$$

Se consideró que los ángulos de incidencia se mantenían constantes durante el periodo de simulación ya que solo era necesario evaluar los efectos de los desvanecimientos de periodo corto.

Las amplitudes de cada una de esas trayectorias se determinan de manera

aleatoria con una distribución uniforme y dentro de un intervalo determinado por la magnitud del retardo, de manera tal que su contorno forma una curva exponencial dada por:

$$pdf(|a_n|) = \begin{cases} \frac{1}{e^{-\tau_n/\lambda}} & (0, e^{-\tau_n/\lambda}) \\ 0 & \text{otro} \end{cases} \quad (4)$$

La fase de cada réplica se puede dividir en dos partes, la fase inicial ( $\phi_n$ ) que depende del retardo ( $\tau_n$ ) y la otra que depende del desplazamiento del móvil en magnitud y dirección, así como de la frecuencia portadora ( $f_c$ ).

$$a_n(t) = 2\pi \frac{v}{c_n} f_c (\cos \theta_n) t + \phi_n \quad (5)$$

donde:

$C_n$  – Velocidad de la luz.

$v$  – velocidad del móvil.

$$\phi_n = (2\pi f_c \tau_n)$$

Para reducir los desvanecimientos se requiere combinar  $m$  señales no correladas provenientes de las diferentes antenas y para que dichas señales sean no correladas las antenas deben de estar separadas una respecto a la otra en al menos 0.4 longitudes de onda.

$$z(t) = \sum_m \left| y(t) - 0.4m \frac{\lambda}{v} \right| \quad (6)$$

Como se observa en la figura 1, es aproximadamente en 0.4 dB donde se tiene una menor correlación entre las señales, por tal motivo se seleccionó esta separación entre los elementos de antena para obtener mejores resultados al aplicar la diversidad espacial.

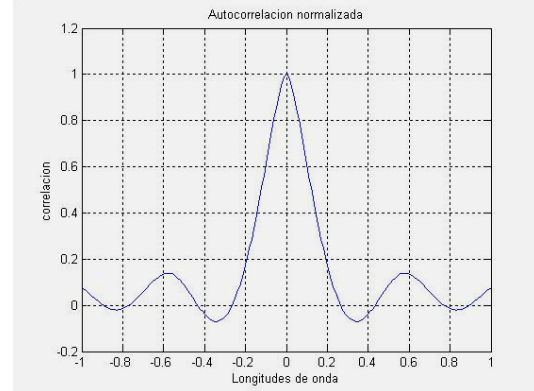


Figura 1. Autocorrelación normalizada en donde se observa que es de 0.4dB donde se tiene una menor correlación entre las señales.

Cuando se suman las señales provenientes de cada una de las antenas se produce una señal resultante diferente, la cual depende en gran medida del número de antenas que se tengan.

### III.- SIMULACIÓN Y ANÁLISIS NUMÉRICO

En la gráfica de la figura 2 se muestra el efecto que se tiene sobre la señal resultante al considerar un número mayor de antenas, en dicha figura se puede apreciar que mientras mas antenas se utilicen, menor será el número de desvanecimientos y menor su amplitud.

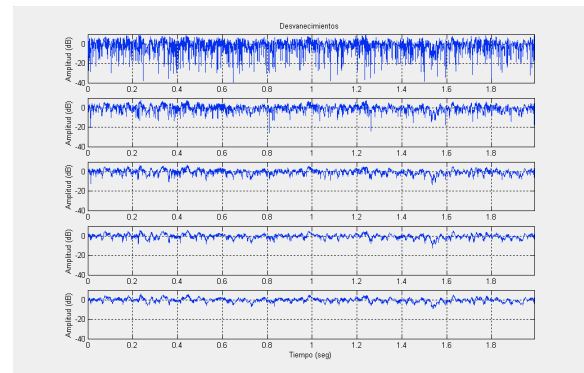


Figura 2. Señal resultante en donde se muestran los desvanecimientos en base al número de antenas.

En lo que respecta a la velocidad de cruce de nivel, los resultados obtenidos muestran que la tasa de cruces disminuye a medida que se aumenta el número de antenas, así como también que el intervalo dinámico requerido en el receptor es menor, lo que es una gran ventaja dado que mientras mayor sea el intervalo dinámico requerido mayor será el costo del receptor. Lo anterior se puede apreciar en la figura 3.

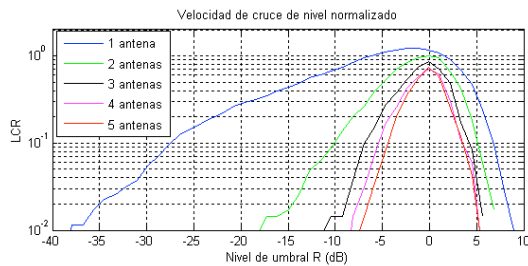


Figura 3. Velocidad de cruce de nivel tomando en cuenta varias antenas.

En el caso de la duración promedio de los desvanecimientos se observa algo similar a lo ocurrido en la tasa de cruces de nivel. En la figura 4 se muestra que la duración promedio de los desvanecimientos se reduce a medida que se aumenta el número de antenas así como también se ve una disminución en el intervalo dinámico requerido.

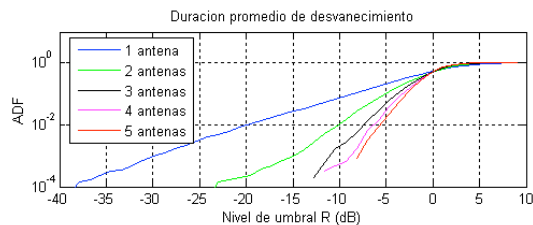


Figura 4. Desviación promedio de desvanecimientos tomando en cuenta varias antenas.

Por último en la figura 5, se puede observar que a medida que se aumenta

el número de antenas se logra una respuesta más cercana a la del canal AWGN. Es decir, que se requerirán de menores niveles de SNR para lograr un BER adecuado.

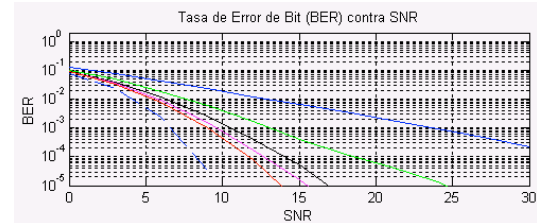


Figura 5. Tasa de error de bit (BER) contra SNR para diferente número de antenas.

#### IV.- CONCLUSIONES

La utilización de la diversidad espacial representa una opción efectiva para contrarrestar los desvanecimientos producidos por el canal radio en la señal recibida y esto se puede apreciar de manera significativa teniendo simplemente dos antenas en lugar de una. Los resultados obtenidos mediante la simulación permiten visualizar que a mayor número de antenas, mejor es el comportamiento de la relación BER vs SNR, acercándose cada vez más a un canal AWGN, además se puede observar que el número promedio de cruces de nivel y la duración promedio de desvanecimiento disminuyen a medida que el número de antenas aumenta.

#### Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por dos proyectos de la 14ª convocatoria interna de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), con los números de programa 471 y 472 del año 2010, así como de la 15ª convocatoria interna con

el programa 474, para ser ejercido en el año 2011-2012. Además recibió apoyo del proyecto aprobado por unidad académica con clave 430/128 del año 2011. También fue apoyado por el CONACyT, con el proyecto número 119168.

combining and maximal ratio combining in the presence of co-channel interference and channel correlation for wireless communication systems”, Mobile Networks and Applications, 1997.

## V.- REFERENCIAS

- [1] Bernard Sklar, “Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems Part I: Characterization” IEEE Communications Magazine, Jul. 1997.
- [2] Bernard Sklar, “Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems Part II: Mitigation” IEEE Communications Magazine, July 1997.
- [3] L. Zhang, Y. Yuan, “Wireless Fading Vector Channel Model for Multi-antena System at Mobile Terminals”, Proceedings of the 36<sup>th</sup> Annual Simulation Symposium (ANSS), 2003.
- [4] Philip A. Bello, “Characterization of Randomly Time-Variant linear channels”, IEEE Transactions on Communications, Vol. 11, No. 4, December 1963.
- [5] Cyril-Daniel Iskander, “Analytical Level Crossing Rates and Average Fade Durations for Diversity Techniques in Nakagami Fading Channels”, IEEE Transactions on Communications, Vol.50, No. 8, August 2002.
- [6] Jian Cui, David D. Falconer, Asrar U.H. Sheikh, “Performance evaluation of optimum