

# EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE COMBINACIÓN EN RECEPTORES CON DIVERSIDAD ANGULAR DE REDES WLAN

M. del Castillo Vázquez, M. Fernández Navarro, A. Puerta Notario

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones  
E.T.S.I. Telecomunicación, Universidad de Málaga  
E-mail: [miguelc@ic.uma.es](mailto:miguelc@ic.uma.es)

## ABSTRACT

We examine the performance of different combining techniques in angle diversity receivers in a WLAN. The signal to noise ratio (SNR) and bandwidth (BW) of different links have been obtained by means of a simulation process in a room with natural and artificial light. Results let us establish design criteria to choose the more appropriate technique.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones ópticas no guiadas en el rango del infrarrojo próximo poseen una serie de características [1] que las hacen especialmente apropiadas para su aplicación en redes inalámbricas de interior (WLAN). Sin embargo, el medio infrarrojo no está exento de problemas. Así, las enormes pérdidas asociadas al canal óptico y el alto nivel de ruido producido por la luz ambiental condicionan seriamente las prestaciones de estos sistemas. Para combatir estos inconvenientes se ha propuesto recientemente [1-3] aplicar en estas redes el concepto de diversidad angular. El origen de las principales ventajas que ofrecen los sistemas que emplean esta nueva técnica está fundamentado en la posibilidad que tienen los receptores de discriminar el ángulo de llegada de las señales recibidas. Para ello, emplean varios fotodetectores con campos de visión (FOV) relativamente reducidos orientados en distintas direcciones. De este modo, cada fotodetector sólo capta las señales recibidas a través de una determinada ventana angular. Los receptores así construidos permiten compatibilizar la ganancia propia de los elementos de concentración óptica, con un elevado ángulo de aceptación conjunto, siendo éste la suma de los ángulos de aceptación de cada uno de los fotodetectores que componen el receptor.

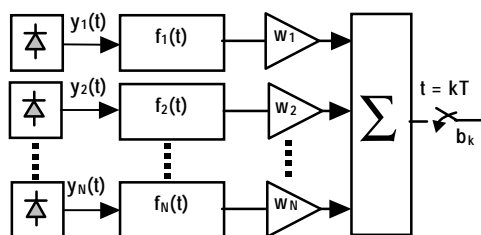


Figura 1. Etapa de combinación del receptor.

Las corrientes generadas en cada fotodetector se amplifican por separado y se combinan aplicando distintas técnicas para obtener una única señal a partir de la cual se extraerá la información transmitida. De esta forma, es posible reducir notablemente el nivel de ruido ambiente combinando adecuadamente las contribuciones de cada fotodetector.

En esta comunicación se examinan las prestaciones obtenidas aplicando distintas técnicas de combinación en receptores con diversidad angular. Mediante procesos de simulación se ha obtenido la relación señal-ruido (SNR) y el ancho de banda (BW) para diferentes enlaces dentro de un recinto que incluye fuentes de luz natural y artificial. Los resultados obtenidos permiten establecer criterios para escoger la técnica más adecuada.

## 2. TÉCNICAS DE COMBINACIÓN

Se han analizado cinco técnicas diferentes que se describen a continuación. La combinación óptima es la MFC (matched-filter combining). En ella, como se muestra en la Fig. 1, cada señal parcial  $y_n(t)$  atraviesa un filtro adaptado al pulso recibido en ese fotodetector,  $f_n(t)$ , y un amplificador con ganancia  $w_n$  inversamente proporcional a la potencia de ruido generado en esa rama. La suma de todas las contribuciones da lugar a la señal  $b_k$ , de la que se extraerá, en etapas posteriores, la información transmitida. El principal problema de este método de combinación lo constituye la necesidad del conocimiento del canal para poder obtener los filtros  $f_n(t)$ . De hecho, su complejidad hace que no sea la técnica más apropiada para la mayoría de las aplicaciones. Existen otros métodos de combinación más sencillos que también se basan en un promediado, pero utilizando distinto criterio para escoger los pesos  $w_n$ . Las prestaciones del receptor dependerán del criterio empleado. En lugar del filtro adaptado, estos métodos emplean un filtro de Bessel de quinto orden, común para todas las ramas, cuya frecuencia de corte dependerá del régimen binario empleado. Así, en la combinación MRC (maximal-ratio combining) los pesos se eligen proporcionales a la SNR a la salida de cada fotodetector, que habrá que estimar previamente. De este modo, se concede mayor importancia a las señales recibidas con más calidad. También es necesario conocer la SNR en cada rama en la combinación SB (select best), en la que se toma la salida del fotodetector con mejor SNR, descartándose el resto. En la combinación MMSE (minimum mean-square-error combining) los pesos se escogen de forma que minimizen el valor cuadrático medio de una señal error obtenida restando a la señal  $b_k$  la salida de un bloque decisor situado tras el muestreador. Finalmente, la técnica de combinación más simple de implementar es la EGC (equal gain combining), en la que todos los pesos son iguales a una constante.

## 3. DESCRIPCIÓN DE LA SIMULACIÓN

La sala empleada para realizar las simulaciones se muestra en el Fig. 2. Todos sus contornos, incluyendo el gran ventanal que ocupa la pared oeste, se han modelado como reflectores lambertianos de primer orden, con el objeto de obtener la respuesta al impulso de los distintos enlaces [1].

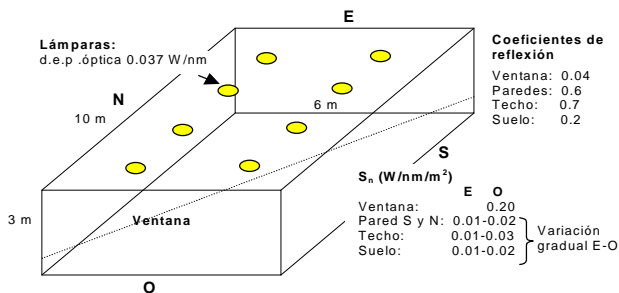


Figura 2. Configuración de la sala.

El ruido que introduce la luz artificial se ha tenido en cuenta incluyendo ocho lámparas equiespaciadas a lo largo del techo de la sala, con un patrón de radiación lambertiano de orden dos [2]. En lo que respecta al efecto de la luz natural que ilumina la sala a través de la ventana, se ha modelado considerando cada elemento de superficie del recinto como un emisor de luz lambertiano de primer orden de densidad espectral de potencia óptica  $S_n$  (W/nm/m<sup>2</sup>). Los valores de  $S_n$  utilizados se obtuvieron experimentalmente en [2]. En cuanto a los equipos empleados, sus características se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 1

	Transmisor	Receptor
nº de haces Tx / nº de fotodetectores Rx	8	8
Elevación de cada haz / de cada fotodetector	37°	45°
Anchuras de haz (HPA) / FOV	10°	20°
Separación azimutal entre haces / entre fotodet.	45°	45°
Potencia transmitida por cada haz	0.6/8 W	-
Area de cada fotodetector	-	1/8 cm <sup>2</sup>
Ganancia de cada concentrador	-	17.7
Ancho de banda del filtrado óptico	-	50 nm
Respuesta de cada fotodetector	-	0.6
BW de 3 dB del filtro de Bessel	-	50 MHz

En las simulaciones llevadas a cabo, se ha estudiado la variación de los parámetros de interés, SNR y BW, en función de la ubicación del receptor en el recinto. Para ello, se ha ido modificando la posición del receptor a lo largo de la línea diagonal que recorre la sala de sudeste (SE) a noroeste (NO) a una altura de 1 m, tal como se muestra en la Fig. 2. El transmisor se ha mantenido en el centro de la sala fijo a una altura de 1.5 m.

#### 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la Fig. 3 se muestran los resultados obtenidos. Se observa que la SNR obtenida con las combinaciones MRC y MMSE prácticamente coinciden en toda la diagonal, siendo ligeramente mejores los de la técnica MRC. Como era de esperar, la combinación MFC es la que presenta mejores resultados, en lo que se refiere a SNR, superando a las siguientes en 1.6 dB en el centro de la sala. Esta diferencia se debe a los filtros adaptados que maximizan la SNR. No obstante, para ubicaciones alejadas del centro las diferencias entre la técnica MFC y las MRC y MMSE se reducen, obteniéndose resultados muy similares cerca de los extremos. Todas las curvas, excepto la correspondiente a la combinación EGC, son simétricas, lo que indica la robustez de las técnicas frente al ruido introducido por la luz natural procedente de la ventana oeste. Como es lógico, la combinación EGC proporciona buenos resultados en el centro del sala empeorando al alejarnos de éste. Con la técnica SB se obtiene una SNR aproximadamente constante en la mayor parte del

recinto, con pequeñas variaciones debidas al cambio del fotodetector escogido en cada caso.

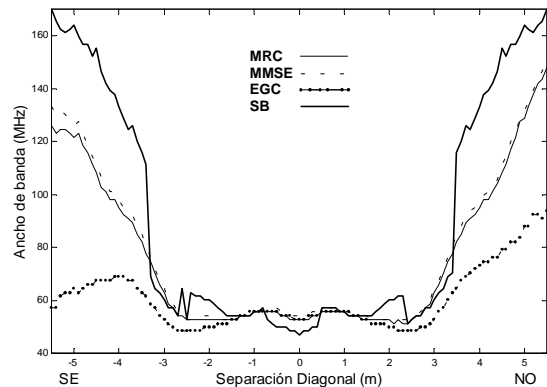
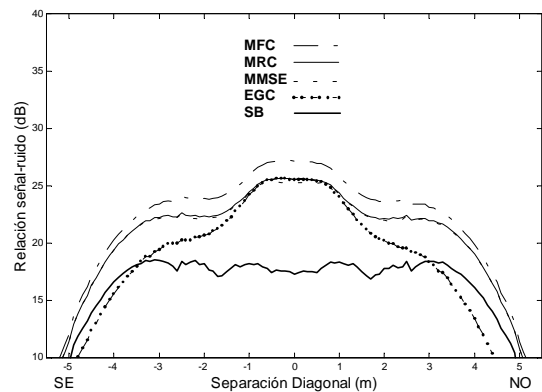


Figura 3. Relación señal-ruido y ancho de banda eléctrico

En lo que se refiere al BW, todas las técnicas presentan resultados cercanos a 50 MHz en el centro de la sala. No obstante, a partir de los 3 m las diferencias empiezan a ser notables, destacando los extraordinarios resultados de la técnica SB sobre el resto. Así, a una distancia de 4 m la combinación SB supera en 36 MHz el BW de las técnicas MRC y MMSE, y en 60 MHz el de la EGC.

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que la técnica de combinación más adecuada para construir receptores con diversidad angular es la MMSE, ya que ofrece excelentes resultados en cuanto a SNR y BW con una complejidad moderada. En aplicaciones en las que el BW sea el factor más crítico en el diseño, la elección se decantaría por la técnica SB.

Este trabajo ha sido subvencionado por la C.I.C.Y.T. en el marco del Proyecto de Investigación TIC99-0633.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Kahn, J.M, Barry, J.B., "Wireless infrared communications", Proceedings of the IEEE, vol. 85, no. 2, February 1997.
- [2] Carruthers, J.B., and Kahn, J.M., "Angle diversity for nondirected wireless infrared communication", IEEE Trans. On Comm., vol. 48, no. 6, pp. 960-969, 2000.
- [3] Del Castillo, M., Fernández, M., Puerta, A., "Análisis comparativo de enlaces con diversidad en redes inalámbricas de interior", Actas URSI, Zaragoza, pp. 697-708, 2000.