

FORMACION DE IMAGEN POR MICROONDAS MEDIANTE AGRUPAMIENTOS
LINEALES ORTOGONALES

J.M. Gironés*, L. Jofre*, M. Ferrando*, J.Ch. Bolomey**
* Dpto. de Electrofísica, E.T.S.I. Telecomunicación, UPC
** Groupe d'Electromagnetisme,
Ecole Supérieure d'Electricité, France

ABSTRACT

Capabilities of a microwave imaging system working in the air by using two crossed linear arrays are described. The analytic expressions of the focalization procedures are derived and resolution and available volume of reconstruction are discussed. Finally, some experimental images corresponding to two dielectric objects are also shown.

INTRODUCCION

Un sistema de imagen a frecuencias de microondas presenta, respecto a los sistemas ópticos, ventajas importantes en la localización e identificación de objetos lejanos o ubicados en entornos inaccesibles. En efecto, una señal de microondas puede penetrar en el interior de medios dieléctricos ópticamente opacos [1], capacidad que puede ser útil aplicada a diagnósticos industriales no invasivos o a la localización de objetos enterrados. Además, puede resolver formas tan pequeñas como cubos de $\lambda/2$ de arista iluminando tan sólo una de las caras del objeto dieléctrico del que se quiere conocer su interior. Estamos, pues, ante un sistema de visión 3D, presumiblemente implementable en robótica como dispositivo de visión artificial, cuyos resultados pueden competir con las imágenes ópticas bidimensionales.

Los estudios actuales en este campo están orientados a la simplificación de la geometría de medida, a la optimización de los procesos numéricos de reconstrucción y a la definición de nuevas aplicaciones.

En este artículo se propone una geometría de dos agrupamientos lineales dispuestos ortogonalmente, se describen los procesos de focalización utilizados y se muestran unas primeras reconstrucciones de objetos dieléctricos reales. Este trabajo generaliza y mejora otros publicados con anterioridad [2], [3].

FORMULACION ANALITICA

La geometría de medida, esquematizada en Fig. 1, utiliza $2N$ elementos, N de los cuales se disponen como agrupamiento transmisor y los N restantes como un receptor perpendicular al primero, para obtener las $N \times N$ muestras requeridas; esto es, cada elemento transmisor radia por separado mientras cada uno de los receptores es activado secuencialmente. No podemos decir que los agrupamientos sean utilizados rigurosamente como tales, pero la información así obtenida permite, mediante procesado numérico, sintetizarlas adecuadamente en cada caso.

El algoritmo de reconstrucción recupera cada punto de la imagen electromagnética del objeto (distribución de corrientes eléctricas inducidas en su interior) mediante la focalización simultánea de ambos agrupamientos en el punto de interés. Este procedimiento se concreta en la ponderación pertinente, no ya de los elementos físicos de cada agrupamiento sino de las muestras obtenidas con cada par de ellos.

Operador de focalización y procedimiento global

El operador fundamental se obtiene invirtiendo la expresión del campo creado por una lí-

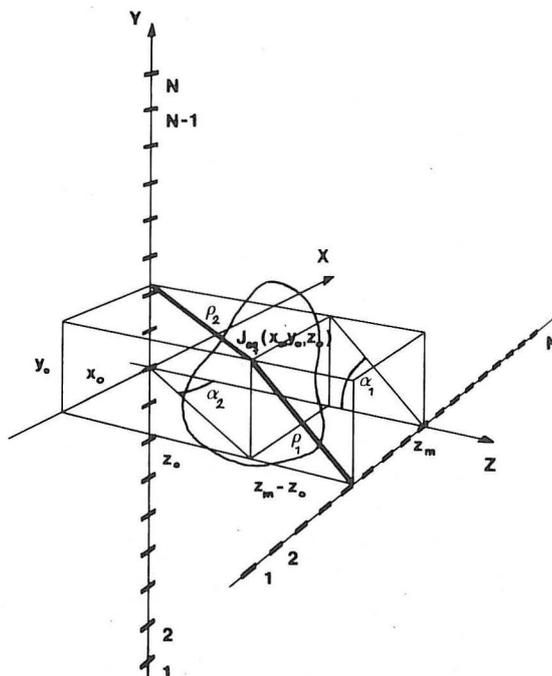


Figura 1. Geometría de medida

nea de corriente. Si suponemos que el agrupamiento vertical de Fig. 1 se comporta como una línea de corriente magnética tal que $\vec{M}_x(y')$ y utilizamos una formulación espectral de ondas planas y cilíndricas [3], [4], encontramos que el campo eléctrico creado es

$$E_y(\vec{r}) = \frac{j}{4} TF_{k_y} \{ TF_y^{-1} \{ M_x(y') \} \cdot \frac{\partial}{\partial z} H_0^{(2)}(\sqrt{k^2 - k_y^2} \sqrt{x^2 + z^2}) \} \quad (1)$$

donde $TF_x\{\}$ denota la transformada de Fourier en la variable x y $H_0^{(2)}$ es la segunda función de Hankel de orden 0. Este campo eléctrico inducirá una u otra corriente eléctrica según sea la constante ϵ del interior del objeto que iluminamos, es decir, creará la imagen electromagnética del mismo. Nótese que se ha hecho una suposición de no despolarización del campo eléctrico al escoger la componente y como predominante. Lo que ahora se pretende imponer es que $E_y(\vec{r})$ sea lo más parecido posible a una función $\delta(\vec{r} - \vec{r}_0)$ de manera que se consiga una iluminación selectiva. Esta condición permite invertir (1) y encontrar la distribución $M_x(y')$ óptima

$$M_x(y') = 4jTF_{k_y} \{C|k_y, \rho_2| e^{jk_y y_0}\} \quad (2)$$

donde $C|k_y, \rho_2|$ es el operador buscado

$$C|k_y, \rho_2| = \frac{\rho_2}{z_0} \frac{1}{H_1^{(2)}(\sqrt{k^2 - k_y^2} \rho_2) \sqrt{k^2 - k_y^2}} \quad (3)$$

y ρ_2 es la distancia del punto \vec{r}_0 al agrupamiento considerado (Fig. 1). El proceso de focalización comporta, pues, la síntesis de la distribución definida por (2).

Procediendo de manera similar con la distribución del agrupamiento horizontal y haciendo que el punto físico de focalización coincida para ambas líneas, la réplica del objeto se puede obtener como

$$\xi(\vec{r}_0) = \iint_{-\infty}^{\infty} C|k_y, \rho_2| C|k_x, \rho_1| \cdot TF_{x'y'} \{H_m(x', y')\} e^{-jk_x x_0} e^{-jk_y y_0} dk_x dk_y \quad (4)$$

dónde $H_m(x', y')$ es la matriz de $N \times N$ muestras del campo medido.

RESULTADOS

La formulación anterior ha sido concretada para un número N de 64 elementos por agrupamiento y , previas a las medidas experimentales, se han realizado diversas simulaciones. La respuesta impulsional de Fig. 2 es la reconstrucción de la sección $y=0$ de un objeto puntual situado en el centro de la geometría de Fig. 1. El sistema presenta una respuesta impulsional variante en el espacio y su deterioro determina un volumen útil que podemos considerar limitado al prisma de Fig. 3.

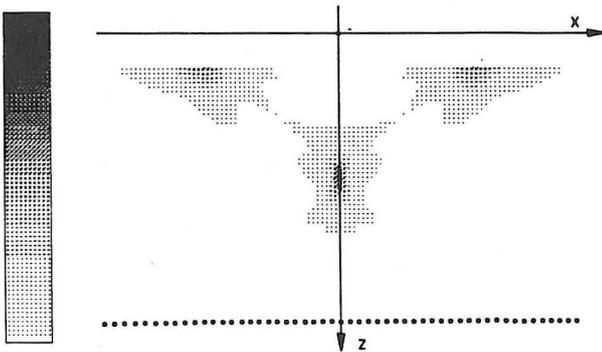


Figura 2. Respuesta impulsional correspondiente al punto $x_0 = y_0 = 0$, $z_0 = 8\lambda$ de Fig. 1.

En cuanto a las medidas experimentales, la geometría se ha sintetizado desplazando una sonda transmisora y otra receptora en el interior de una cámara anecoica. El control de sus posiciones y la sincronización del instante de medida ha sido confiada a un HP-85. La iluminación de los objetos se ha realizado amplificando hasta un nivel de 25 dBm la señal de salida de un oscilador estabilizado a 12.5 GHz mediante un bucle de fase. Las lecturas se han tomado de un analizador de redes automático HP-8408A de manera que todas ellas eran relativas a la señal entregada por el oscilador. Un amplificador Singer ha permitido aprovechar la casi totalidad del margen dinámico (60 dB) del dispositivo de medida. En Fig. 4 se presentan tres secciones distintas de un mismo matraz Erlenmeyer de vidrio ($\epsilon_r = 6$) y un esquema del mismo. En Fig. 5 la reconstrucción corresponde a tres letras recortadas de una

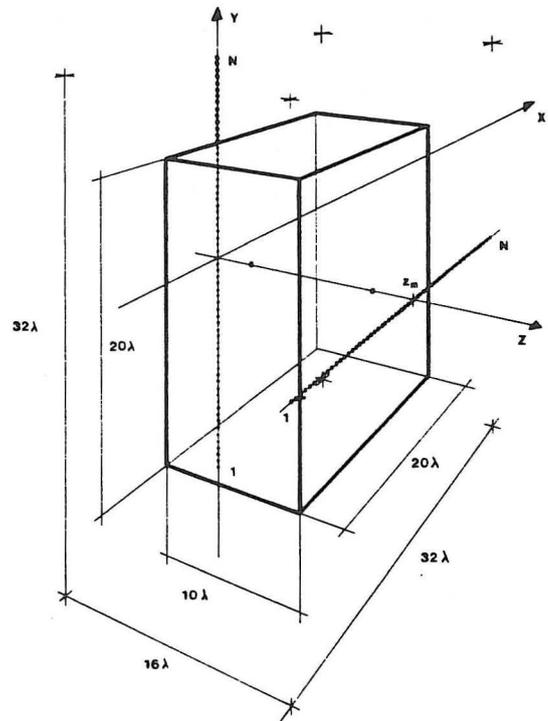


Figura 3. Volumen útil de reconstrucción plancha de teflón ($\epsilon_r = 2.1$).

CONCLUSIONES

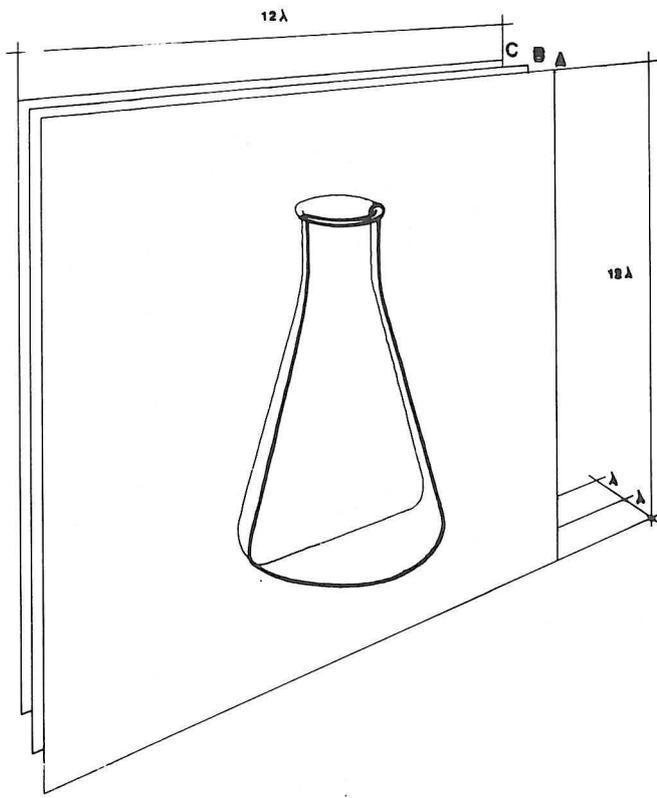
La calidad de estas primeras imágenes demuestra la potencialidad del procedimiento propuesto para obtenerlas y da pie para un estudio más preciso, en el que se considerase el uso de un sistema multifrecuencia y la necesidad de compensar el diagrama de las sondas reales utilizadas. No hay que menospreciar, pues, la construcción de un prototipo experimental capaz de trabajar en tiempo real.

RECONOCIMIENTOS

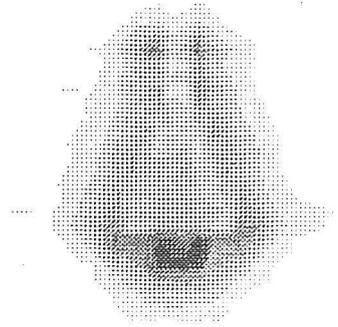
Este trabajo ha sido realizado con el soporte de la Acción Integrada Hispano-Francesa 18/133

BIBLIOGRAFIA

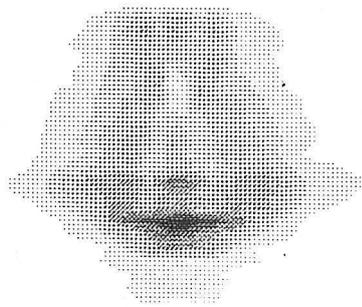
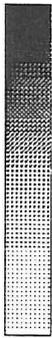
- [1] L. Jofre et al. "Sistema en banda X para la reconstrucción de imágenes". Actas V Reunión URSI, Sevilla, 25-26 Sept 1984, pp 347-352.
- [2] J.C. Bennett et al. "A novel radar array and its imaging properties". IEEE Trans. Antennas Propagat., vol AP-27, nº 4, pp 567-570, 1979.
- [3] G. Peronnet et al. "Linear array arrangement for microwave tomography". Radio Science, vol 19, nº 5, pp 1342-1346, 1984.
- [4] L. Jofre "Formulación espectral de problemas de difracción y su aplicación a la formación de imágenes en microondas". Tesis doctoral, UPC, 1982
- [5] H. Jasik "Antenna engineering handbook". McGraw-Hill, New York, 1961.
- [6] D.M. Milder, N.H. Wells "Acoustic holography with crossed linear arrays". IBM J. Res. Develop. 14, pp 492-500, 1970.
- [7] J.C. Bennet et al. "A novel radar array and its imaging properties". IEEE Trans. Antenna Propagat. vol. AP-27, pp. 567-570, 1979.
- [8] G. Tricoles et al. "Microwave holography: applications and techniques". Proc. IEEE, vol.65, pp. 108-121.



A



B



C

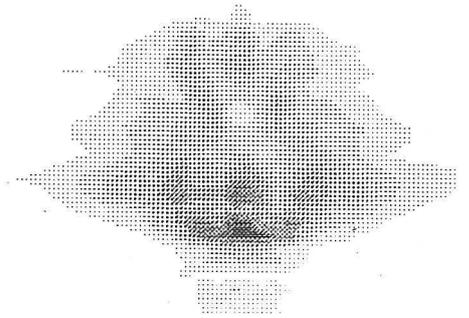


Figura 4. Secciones de un matraz de vidrio

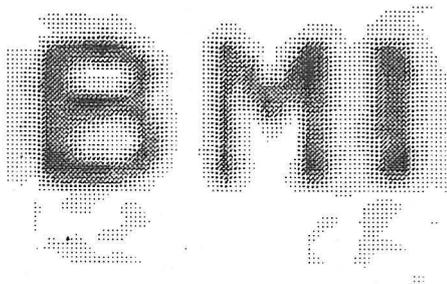


Figura 5. Reconstrucción de tres letras recortadas en teflón