



PRÁCTICA DE REDES MÓBILES E SEN FÍOS

Tutorial de la Práctica 1

El programa de simulación de agrupaciones de antenas ejecutable con MATLAB (denominado STACA: Software Tool for Analyzing Conformal Antenna Arrays¹) sirve para representar gráficamente la distribución de las corrientes en cada uno de los elementos de la agrupación junto con los diagramas de radiación generados por ella.

Como ejemplo, supongamos que tenemos una agrupación de N antenas isotrópicas alineadas a lo largo del eje z , según se observa en la Figura 1.

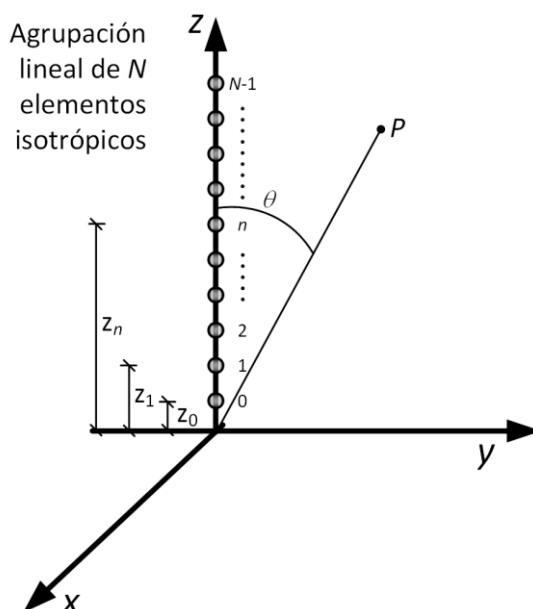


Figura 1. Agrupación lineal de N elementos isotrópicos alineados sobre el eje z .

El campo electromagnético $E(\theta)$ —que es un número complejo— generado por dicha agrupación en el punto P (ver figura anterior) se puede calcular como²:

$$E(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{jkz_n \cos \theta} \quad (1)$$

donde

- I_n son los números complejos que representan las corrientes alternas que reciben los elementos (I_0 es la corriente que recibe el elemento 0, I_1 el elemento 1, etcétera);

¹ Con “Conformal Arrays” se quiere significar “agrupaciones conformadas”, que son agrupaciones de antenas distribuidas en el espacio, sin restricción a planos (agrupaciones planas) o líneas (agrupaciones lineales).

² Con “campo electromagnético generado por dicha agrupación” nos referimos al campo eléctrico o bien a cualquier componente de éste. La ecuación (1) es genérica, y sirve simplemente para dar una idea de cuál sería el campo eléctrico generado por una agrupación de antenas isotrópicas. Para más información, consultar la bibliografía sugerida para la asignatura.



- z_n representan sus posiciones sobre el eje z ;
- la línea trazada entre el origen de coordenadas y el punto P forma un ángulo θ con el eje z ;
- $j = \sqrt{-1}$ es la unidad imaginaria.

De esta manera para cada punto del espacio (sobre la esfera ficticia) indicado por θ , el campo tendrá un módulo cuyo valor al cuadrado representa la densidad de potencia electromagnética en dicho punto:

$$|E(\theta)|^2 = \left| \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{jkz_n \cos \theta} \right|^2 \quad (2)$$

Esta función tendrá un valor máximo E_{max} para un punto dado θ_{max} :

$$E_{max}^2 = |E(\theta = \theta_{max})|_{max}^2 > |E(\theta)|^2 \quad (3)$$

Si ahora dividimos la ecuación (2) por E_{max}^2 , obtenemos la densidad de potencia normalizada

$$E_{norm}^2 = \frac{|E(\theta)|^2}{E_{max}^2} = \frac{\left| \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{jkz_n \cos \theta} \right|^2}{E_{max}^2} \quad (4)$$

Dicha densidad entonces tendrá un valor entre 0 y 1 (será cero cuando $|E(\theta)| = 0$, y uno cuando $|E(\theta)| = E_{max}$). Este valor de potencia normalizada se puede expresar en decibelios:

$$E_{dB}(\theta) = 10 \log_{10} E_{norm}^2 = 10 \log_{10} \left(\frac{\left| \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{jkz_n \cos \theta} \right|^2}{E_{max}^2} \right) \quad (5)$$

Éste es el campo que usualmente se representa en un diagrama de radiación. Su valor estará comprendido en el rango $-\infty < E_{dB} \leq 0$.

En la expresión (1), que representa un número complejo, no se tiene en cuenta la polarización de las antenas que forman la agrupación (ya que son elementos ideales, isotrópicos, sin polarización definida), y por lo tanto no se tiene la polarización del campo. Supongamos ahora que cada elemento no es isotrópico, o sea que cada uno tendrá una función de su radiación, llamémosle $f_n(\theta, \varphi)$, es decir que ahora el campo radiado por el elemento n -ésimo será también función de θ y φ . Además, supongamos que tiene una dirección de polarización dada, por lo que la f_n será un vector, y lo representaremos por letra negrita $\mathbf{f}_n(\theta, \varphi)$. La radiación \mathbf{E} entonces será también un vector, y dependerá de θ y φ :

$$\mathbf{E}(\theta, \varphi) = \sum_{n=0}^{N-1} I_n \mathbf{f}_n(\theta, \varphi) e^{jkz_n \cos \theta}, \quad (6)$$

es decir, \mathbf{E} será el resultado de una suma de vectores.



Supongamos que queremos obtener el valor del campo a una distancia dada de la agrupación, y lo hacemos sobre una esfera (así se mantiene constante dicha distancia respecto del centro de la antena), según se indica en la Figura 2. Según se observa en dicha figura, indicamos el punto P mediante un vector \mathbf{r} . Podemos descomponer el vector \mathbf{E} en dos partes, una paralela al vector unitario \mathbf{a}_θ (vector de módulo igual a uno que apunta en la dirección creciente del ángulo θ y es perpendicular a \mathbf{r}), y otra paralela al vector unitario \mathbf{a}_φ (vector de módulo igual a uno que apunta en la dirección creciente del ángulo φ y es perpendicular a \mathbf{r} y a \mathbf{a}_θ), según se observa en la Figura 2.

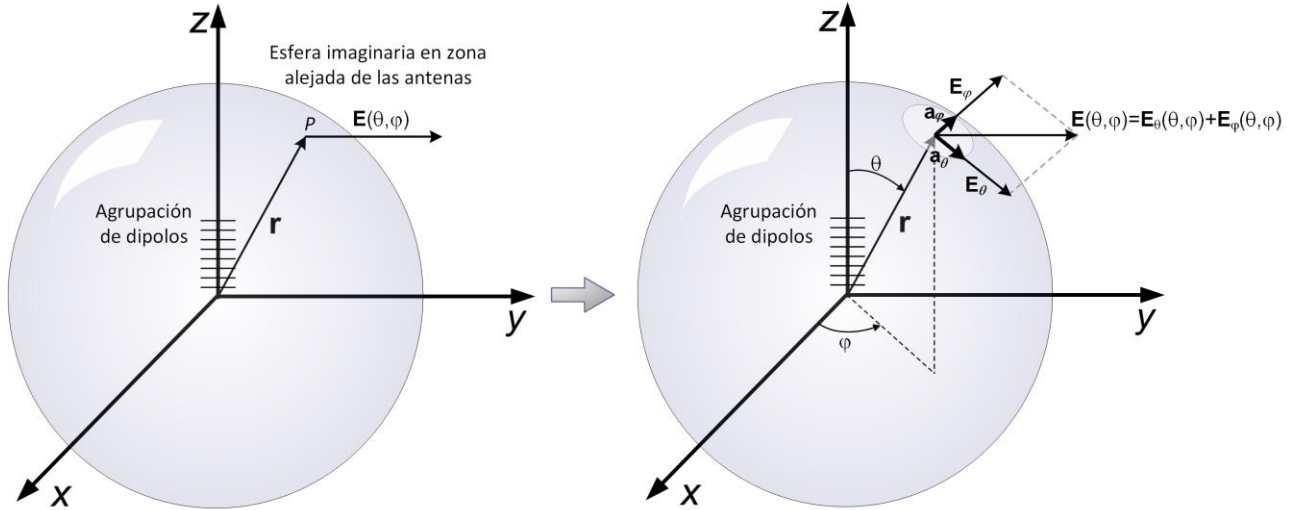


Figura 2. Agrupación lineal de N dipolos. Los ejes de los dipolos son paralelos al eje y , y se distribuyen a lo largo de una línea sobre el eje z .

Ahora tendremos entonces:

$$\mathbf{E}(\theta, \varphi) = \mathbf{E}_\theta(\theta, \varphi) + \mathbf{E}_\varphi(\theta, \varphi) \Rightarrow |\mathbf{E}(\theta, \varphi)|^2 = |\mathbf{E}_\theta(\theta, \varphi)|^2 + |\mathbf{E}_\varphi(\theta, \varphi)|^2 \quad (7)$$

Teniendo en cuenta que \mathbf{E} alcanzará el máximo E_{\max}^2 en algún punto sobre la esfera para algún par de valores ($\theta = \theta_{\max}$, $\varphi = \varphi_{\max}$), podemos normalizar la expresión anterior, obteniendo el campo total normalizado:

$$E_{\text{norm}}^2 = \frac{|\mathbf{E}(\theta, \varphi)|^2}{E_{\max}^2} = \frac{|\mathbf{E}_\theta(\theta, \varphi)|^2 + |\mathbf{E}_\varphi(\theta, \varphi)|^2}{E_{\max}^2}, \quad (8)$$

y su valor en decibelios será

$$E_{dB} = 10 \log_{10}(E_{\text{norm}}^2) = 10 \log_{10} \left(\frac{|\mathbf{E}_\theta(\theta, \varphi)|^2 + |\mathbf{E}_\varphi(\theta, \varphi)|^2}{E_{\max}^2} \right) \quad (9)$$

También es posible representar los valores en decibelios de las componentes por separado:



$$E_{\theta dB} = 10 \log_{10} (E_{\theta norm}^2) = 10 \log_{10} \left(\frac{|\mathbf{E}_{\theta}(\theta, \varphi)|^2}{E_{max}^2} \right),$$

$$E_{\varphi dB} = 10 \log_{10} (E_{\varphi norm}^2) = 10 \log_{10} \left(\frac{|\mathbf{E}_{\varphi}(\theta, \varphi)|^2}{E_{max}^2} \right),$$
(10)

en las que hay que tener en cuenta que E_{max}^2 es el mismo para ambas, y es el que corresponde a la ecuación (9).

Los campos presentados en las ecuaciones (9) y (10) son los que el ejecutable en MATLAB representa en forma de diagramas de radiación.

Supongamos ahora que rotamos 90° los dipolos, alineándolos a lo largo del eje x , según se observa en la siguiente figura. En este caso, la dirección del vector \mathbf{E} cambiará, ya que ha cambiado la orientación de los dipolos (el campo eléctrico de cada dipolo oscila en la misma dirección que su eje principal, el dipolo tiene polarización lineal).

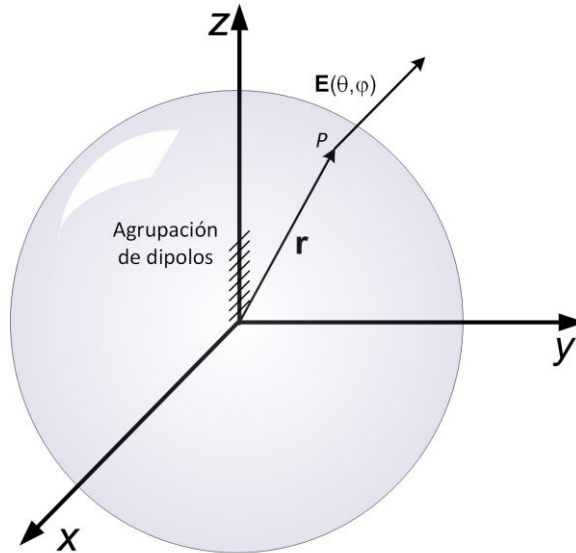


Figura 3. Agrupación lineal de N dipolos. Los ejes de los dipolos son paralelos al eje x , y se distribuyen a lo largo de una línea sobre el eje z . Se observa que el campo \mathbf{E} ha cambiado de dirección, ya que los dipolos están alineados en una dirección distinta a las de las figuras anteriores.

Entonces, hay que tener en cuenta no sólo el tipo de elementos que se utiliza en la agrupación, sino la orientación de cada elemento. Esto también se tiene en cuenta en el programa STACA.

Para que el programa pueda establecer correctamente la orientación de cada elemento, es necesario establecer un sistema de coordenadas local para cada uno de ellos. En la siguiente figura se observa un elemento cualquiera (elemento n -ésimo) de la agrupación (una agrupación de parches, por ejemplo), con una orientación arbitraria. El elemento está en una posición espacial indicada por el vector $\mathbf{r}_n = x_n \mathbf{a}_x + y_n \mathbf{a}_y + z_n \mathbf{a}_z$, siendo \mathbf{a}_x , \mathbf{a}_y y \mathbf{a}_z los vectores unitarios en las direcciones x , y y z del sistema de coordenadas. Por otra parte, el elemento tiene su propio sistema de coordenadas x_n , y_n , z_n , con sus vectores unitarios \mathbf{a}_{xn} , \mathbf{a}_{yn} , y \mathbf{a}_{zn} . Cada uno de los ejes x_n , y_n , z_n forman determinados ángulos con los ejes del sistema de coordenadas principal, que en la figura se indican con los símbolos α , β y γ . De este modo, α_{xn} es el ángulo del eje x del elemento n -ésimo (x_n) respecto del eje x global, β_{xn} es el ángulo del mismo eje x_n respecto del eje y global, etcétera (ver Figura 4).

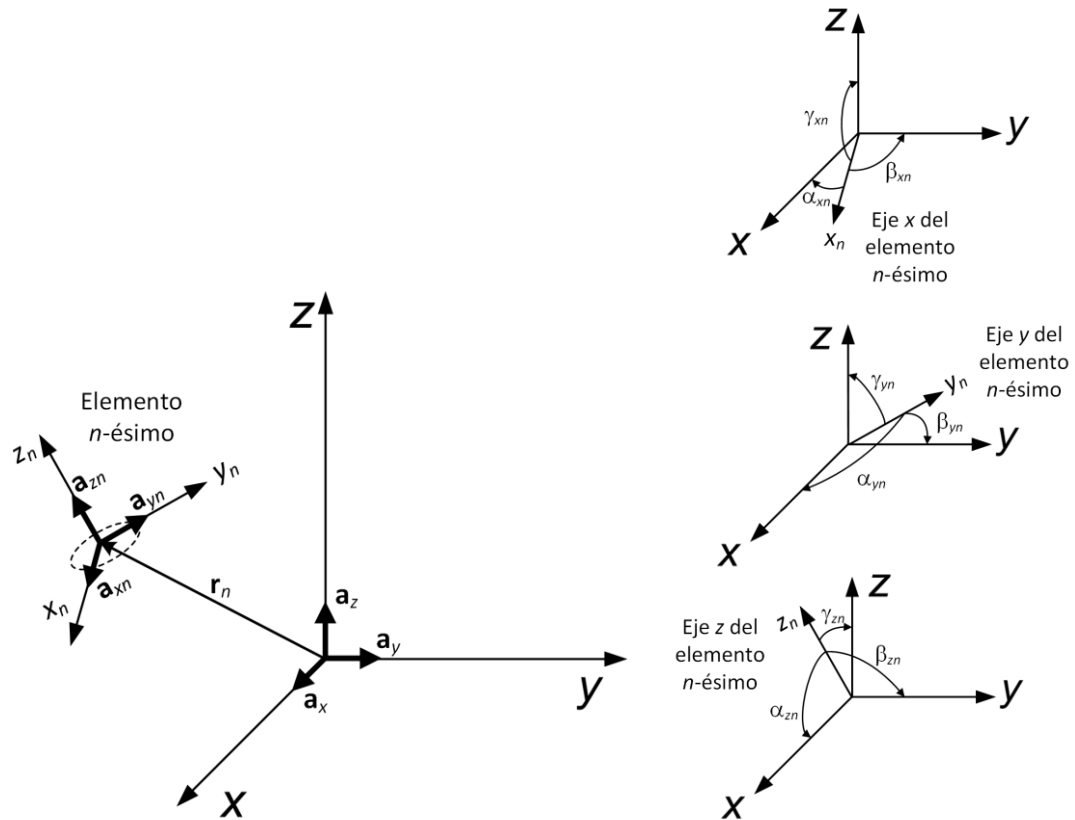


Figura 4. Izquierda: posición y orientación del elemento n -ésimo. Derecha: detalle de los ángulos que forman los ejes del sistema de coordenadas local con los ejes del sistema de coordenadas global.

Finalmente, el programa requiere que se indique qué tipo de elemento se utilizará en la agrupación. Existen tres opciones:

- 1: Dipolo corto orientado a lo largo del eje z (y con polarización a lo largo del eje del dipolo).
- 2: Parche con diagrama $f_e = \cos(\theta)$ \mathbf{a}_θ . El parche está orientado de modo que su plano coincide con el plano x-y.
- 3: Elemento omnidireccional con polarización en \mathbf{a}_θ .

El formato del fichero .dat de entrada de datos que lee el programa es el siguiente:

X_n TAB Y_n TAB Z_n TAB Amp TAB PhaDeg TAB A_{xn} TAB B_{xn} TAB G_{xn} TAB A_{yn} TAB B_{yn} TAB G_{yn} TAB KE1 \n

$[X_n, Y_n, Z_n]$: componentes del vector posición del elemento n -ésimo, expresados en unidades de longitud de onda (por ejemplo $[X, Y, Z] = [0, 0, 3]$ indica que el elemento está sobre el eje z tres unidades λ por encima del origen de coordenadas).

Amp: amplitud de la corriente del n -ésimo elemento.

Pha: fase (en grados) de la corriente del n -ésimo elemento.

$[A_{xn}, B_{xn}, G_{xn}]$ y $[A_{yn}, B_{yn}, G_{yn}]$: ángulos $[\alpha_{xn}, \beta_{xn}, \gamma_{xn}]$ y $[\alpha_{yn}, \beta_{yn}, \gamma_{yn}]$, respectivamente (grados). El programa no necesita los ángulos $[\alpha_{zn}, \beta_{zn}, \gamma_{zn}]$, ya que los calcula automáticamente.

KE1: variable que permite al programa identificar la función f_e . Los valores disponibles son los que se indicaron anteriormente (1, 2 y 3 para dipolo, parche y elemento omnidireccional respectivamente).



TAB y \n indican tabulación y salto de línea, respectivamente. Para que el programa establezca correctamente el número total de elementos de la agrupación, el salto de línea \n debe omitirse en la última línea del fichero .dat.

Veamos un ejemplo de configuración y su visualización obtenida con STACA.

Tres dipolos distribuidos sobre el eje z, uno en el origen de coordenadas, el siguiente a 0.5λ del origen, y el último a λ unidades del origen:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_0 &= x_0 \mathbf{a}_x + y_0 \mathbf{a}_y + z_0 \mathbf{a}_z = 0 \mathbf{a}_x + 0 \mathbf{a}_y + 0 \mathbf{a}_z \\ \mathbf{r}_1 &= x_1 \mathbf{a}_x + y_1 \mathbf{a}_y + z_1 \mathbf{a}_z = 0 \mathbf{a}_x + 0 \mathbf{a}_y + 0.5 \mathbf{a}_z \\ \mathbf{r}_2 &= x_2 \mathbf{a}_x + y_2 \mathbf{a}_y + z_2 \mathbf{a}_z = 0 \mathbf{a}_x + 0 \mathbf{a}_y + 1 \mathbf{a}_z \end{aligned}$$

El primer elemento está orientado a lo largo del eje -y, el segundo a 45° del eje -y y a 45° del eje x, (siendo el dipolo anterior girado 45°) sobre el eje z. Finalmente, el tercer elemento estará orientado a lo largo del eje y. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} (\alpha_{x0}, \beta_{x0}, \gamma_{x0}) &= (0, 90, 90); (\alpha_{y0}, \beta_{y0}, \gamma_{y0}) = (90, 90, 0); \\ (\alpha_{x1}, \beta_{x1}, \gamma_{x1}) &= (45, 45, 90); (\alpha_{y1}, \beta_{y1}, \gamma_{y1}) = (90, 90, 0); \\ (\alpha_{x2}, \beta_{x2}, \gamma_{x2}) &= (0, 90, 90); (\alpha_{y2}, \beta_{y2}, \gamma_{y2}) = (90, 90, 180); \end{aligned}$$

Los tres poseen corrientes distintas:

$$\begin{aligned} I_0 &= 1.5 e^{j0^\circ}; \\ I_1 &= 2.0 e^{j45^\circ}; \\ I_2 &= 1.5 e^{j90^\circ}; \end{aligned}$$

Como son dipolos, $Kel = 1$;

Por lo tanto, el fichero .dat tendrá el siguiente contenido

0	0	0	1.5	0	0	90	90	90	90	0	1
0	0	0.5	2.0	45	45	45	90	90	90	0	1
0	0	1	1.5	90	0	90	90	90	90	180	1

Las amplitudes y fases de las corrientes, así como las orientaciones de los elementos se observan en las siguientes figuras.

