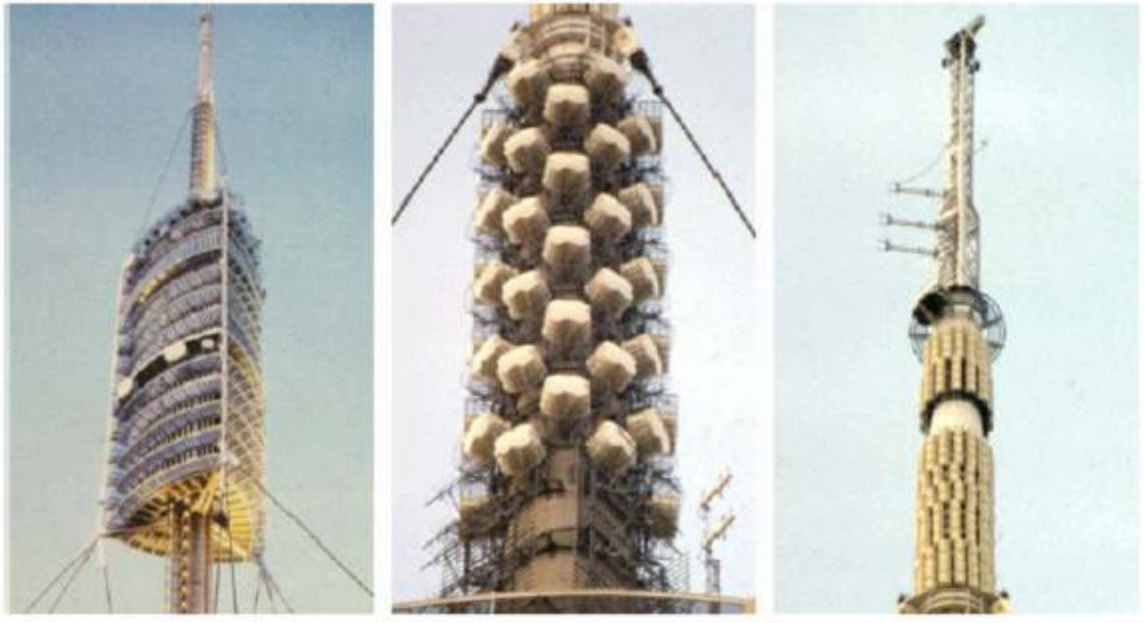
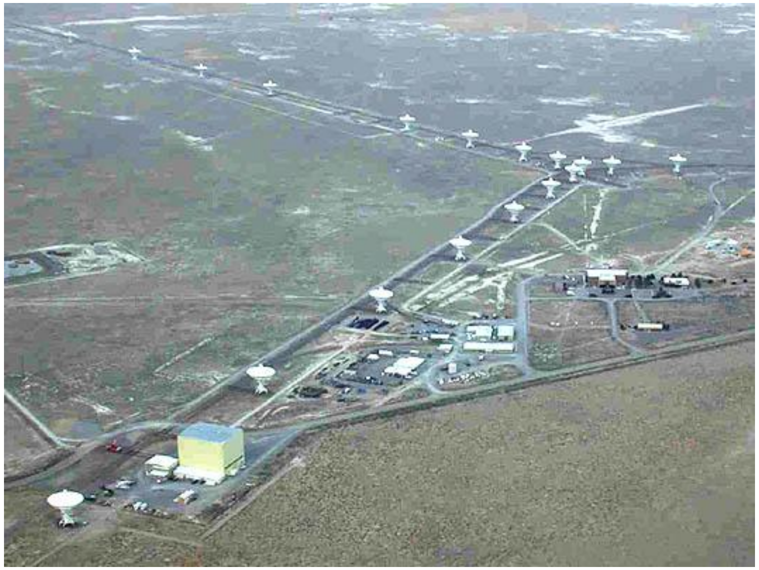
AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)



AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)



Very Large Array at NRAO

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Array de antenas Vivaldi (4-6 GHz)

15 Mhz Antenna Array

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

- Un array es una antena compuesta por un número de radiadores idénticos ordenados regularmente y alimentados para obtener un diagrama de radiación predefinido.
- Tipos de arrays:
  - Arrays lineales
  - Arrays planos
  - Arrays conformados
- Ventajas:
  - se puede controlar la amplitud de las corrientes y la fase de cada elemento, como por ejemplo en los phased arrays, modificando la forma del diagrama de radiación.
  - se puede conseguir que los parámetros de antena dependan de la señal recibida a través de circuitos asociados a los elementos radiantes, como en el caso de los arrays adaptativos.

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

- El factor de array es el diagrama de radiación de una agrupación de elementos isotrópicos.
- Cuando los diagramas de radiación de cada elemento del array son iguales y los elementos están orientados en la misma dirección del espacio, el diagrama de radiación de la agrupación se puede obtener como el producto del factor de array por el diagrama de radiación del elemento.
- Hay 5 métodos para controlar el diagrama de radiación de un array:
  - Mediante la configuración geométrica (linear, rectangular, circular…)
  - La situación relativa de los elementos
  - La amplitud de la excitación de cada elemento
  - La fase de la excitación de cada elemento
  - El diagrama de radiación de cada elemento

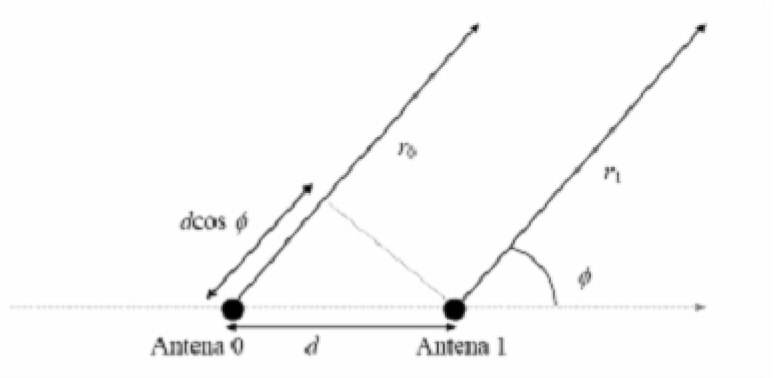
AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

ARRAYS LINEALES

- **Array de dos elementos**

  Dos radiadores iguales, alimentados con misma amplitud y fase

  Ambos radiadores producen ondas esféricas que se sumarán de forma constructiva en determinadas direcciones y cancelación en otras



La diferencia de caminos recorrida por las dos ondas:

$$R_1 - R_2 = d\cos\theta$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

La amplitud total de la señal será el producto de una onda esférica por un factor de interferencia

$$\frac{e^{-jkr}}{4\pi r}\left(1+e^{jkd\cos\theta}\right)$$

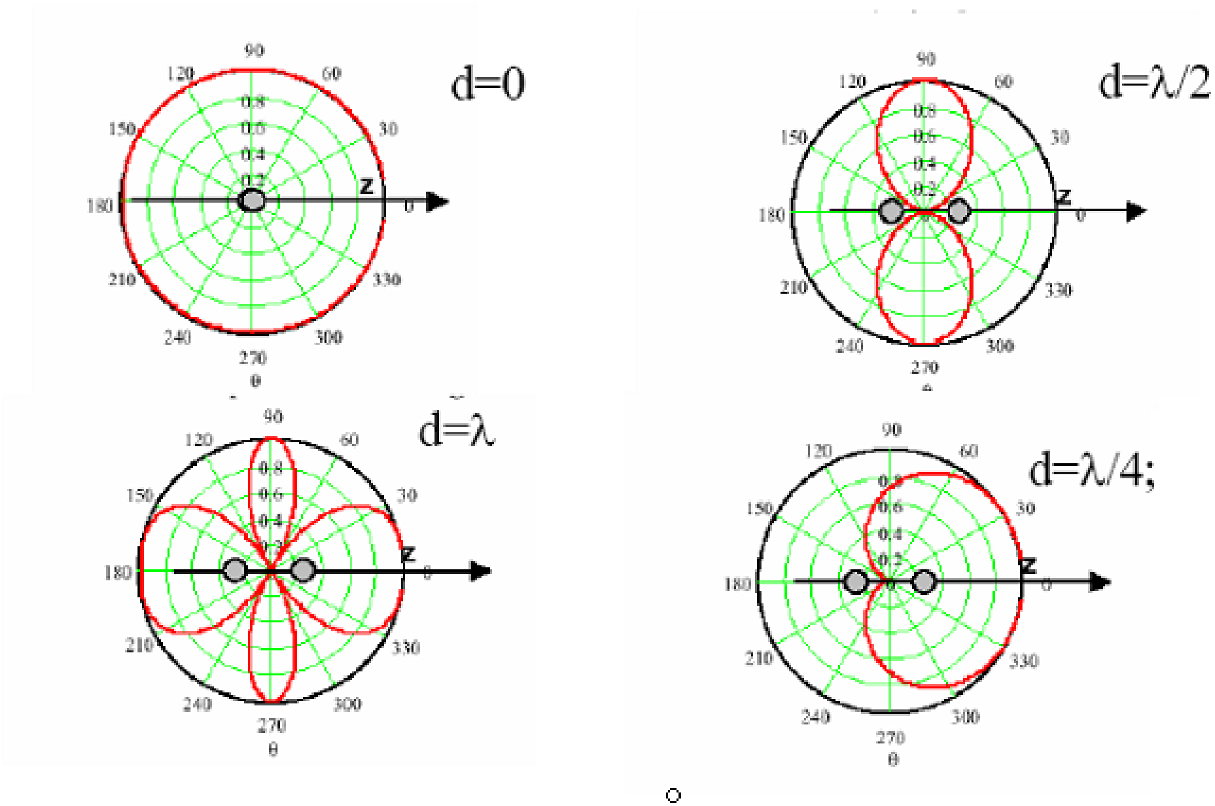
Interferencia constructiva: la diferencia de caminos es múltiplo entero de longitud de onda, la amplitud de la señal será el doble

Interferencia destructiva: cuando la diferencia de fase sea un número impar de π

El campo radiado de un array es un vector superposición de los campos radiados por los elementos individuales

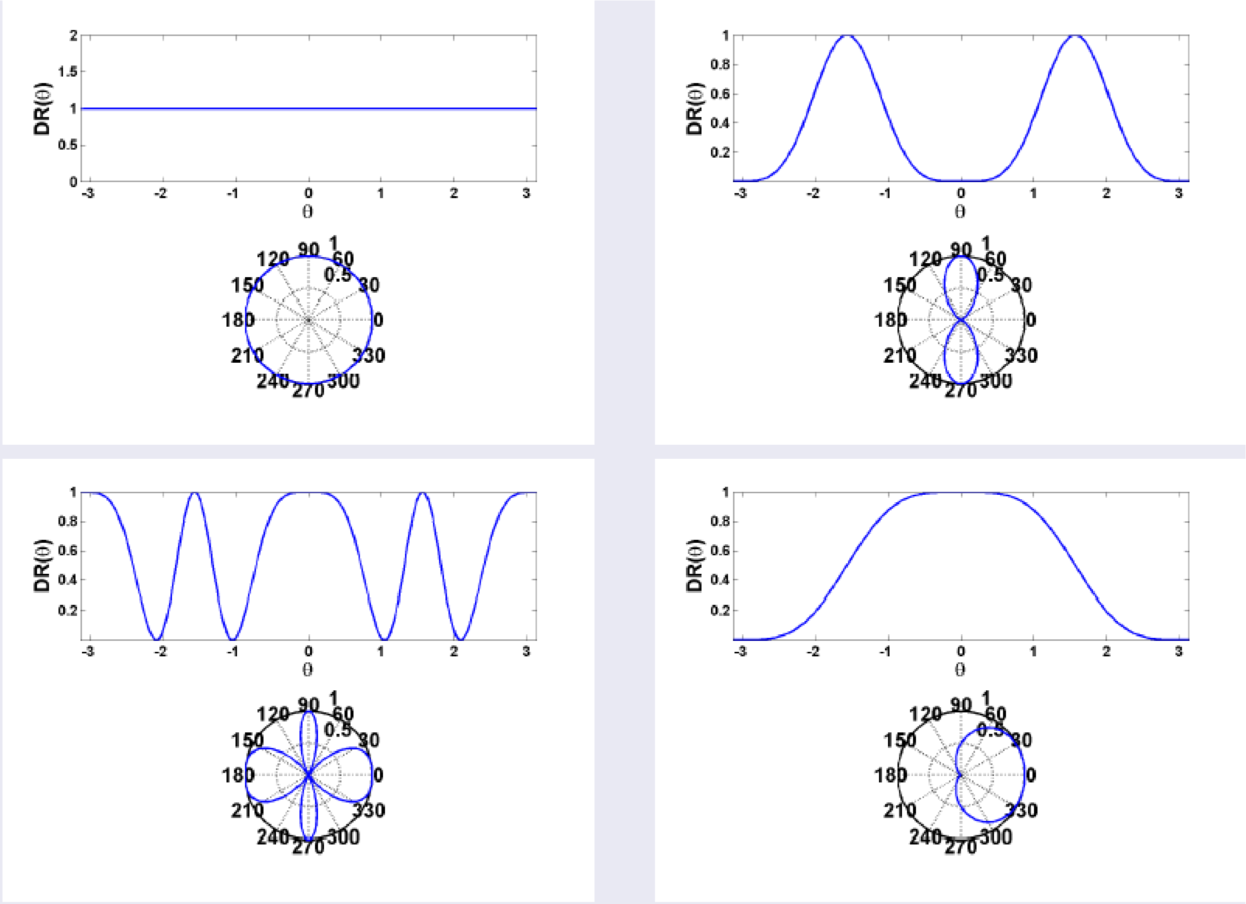
Para conseguir diagramas de radiación muy directivos es necesario que los campos parciales (generados por los elementos individuales) interfieran constructivamente en la dirección deseada y destructivamente en el resto del espacio

AGRUPACIONES DE ANTENAS (ARRAYS)



AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Representaciones cartesiana y polar



El vector de radiación de una antena en el origen y una desplazada es:

$$\overline{N}_0 = \iiint_{V'} \overline{J}\left(\overline{r}'\right) \cdot e^{jk\overline{r}'\cdot\widehat{r}} dV'$$

$$\overline{N}_1 = \iiint_{V'} \overline{J}\left(\overline{r}'-\overline{r}_1\right) \cdot e^{jk\overline{r}'\cdot\widehat{r}} dV' = \ldots = \overline{N}_0 e^{jk\overline{r}_1\cdot\widehat{r}}$$

Agrupándolos, el vector de radiación del conjunto es:

$$\overline{N} = \overline{N}_0 + \overline{N}_1 = \overline{N}_0\left(1 + e^{jk\overline{r}_1\cdot\widehat{r}}\right) = \overline{N}_0 FA$$

Que es el producto del vector de radiación de una antena centrada en el origen por el factor de array

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Si las corrientes son diferentes con una relación de amplitudes A y una diferencia de fases:

$$\frac{I_1}{I_0} = Ae^{j\alpha}$$

El factor de array es:

$$FA = 1 + Ae^{j\alpha}e^{jk\bar{r}_1\cdot\hat{r}}$$

Definimos ángulo eléctrico Ψ como la diferencia de fase entre las ondas producidas por los radiadores, debida a la diferencia de caminos y a la diferencia de fase de la alimentación

$$\Psi = \alpha + jk\bar{r}_1\cdot\hat{r}$$

Si los elementos están en el eje z,

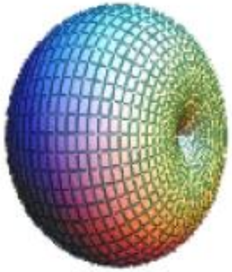
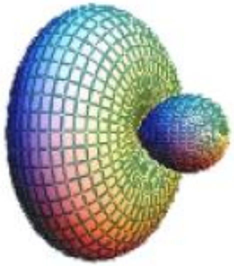
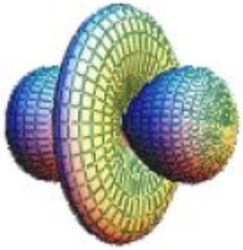
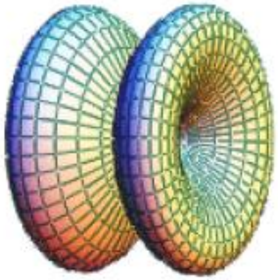
$$\Psi_z = k_z d + \alpha = kd\cos\theta + \alpha$$

Si además A=1:

$$FA(\Psi_z) = 1 + e^{j\Psi_z} = e^{-j\frac{\Psi_z}{2}}\cos\left(\frac{\Psi_z}{2}\right) \quad para\ el\ array\ no\ centrado$$

$$FA(\Psi_z) = e^{j\frac{\Psi_z}{2}} + e^{-j\frac{\Psi_z}{2}} = \cos\left(\frac{\Psi_z}{2}\right) \quad para\ el\ array\ centrado$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

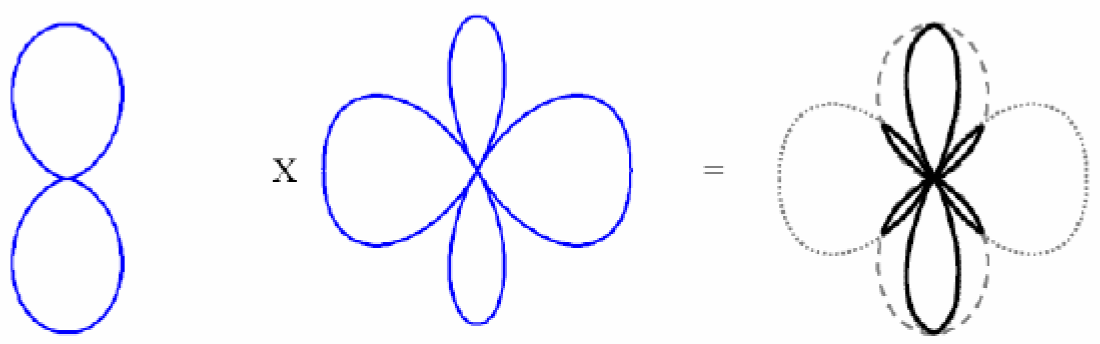
d	$\alpha=0$	$\alpha=\pi/2$	$\alpha=\pi$
$\lambda/4$			
$\lambda/2$			
λ			

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

El diagrama total de la agrupación es el producto del Factor de Array por el Diagrama de Radiación del elemento

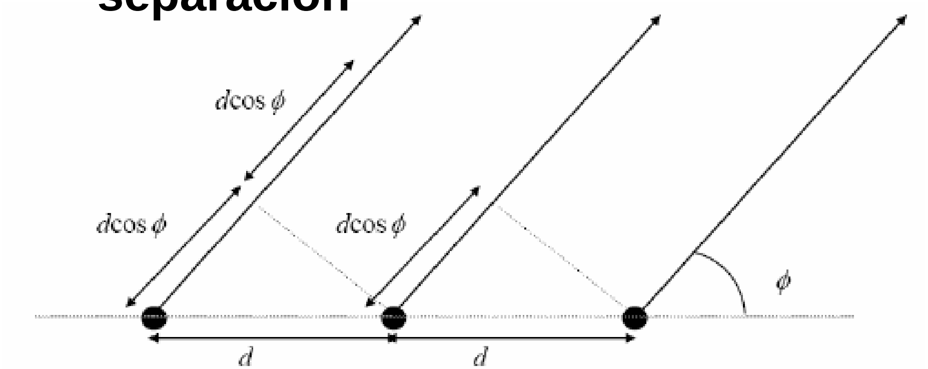
$\Rightarrow$ Suelen interesar elementos poco directivos

$\Rightarrow$ Elementos sin nulos en el la zona de radiación



AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

- **Array lineal de N elementos con igual amplitud y separación**



Las corrientes: número complejo por factor de desfase progresivo

$$I_n = a_n e^{jn\alpha} I_0$$

El ángulo eléctrico Ψ tiene en cuenta el desfase progresivo y la diferencia de caminos entre las ondas

$$\psi_z = k_z d + \alpha$$

La variable compleja z cuyo mod. es 1 y fase= fase señal (dif, de caminos y red de alim.). El factor de la agrupación se puede definir como un polinomio complejo:

$$e^{j\Psi} = z$$

$$p(z) = a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3 + \ldots$$

$$p(z) = \sum_{n=0}^{N-1} z^n$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

- Agrupaciones uniformes: Todas las antenas igual amplitud de corriente

$$p(z) = 1 + z + z^2 + z^3 + \ldots.$$

$$p(z) = \sum_{n=0}^{N-1} z^n$$

- Agrupaciones triangulares: Los elementos crecen desde amplitud 1 hasta el máximo y luego decrecen. El número de antenas debe ser impar. El p(z) se puede escribir como el cuadrado de un polinomio uniforme

$$p(z) = 1 + 2z + 3z^2 + \ldots + 2z^{N-2} + z^{N-1} = \left(\sum_{n=0}^{\frac{N-1}{2}} z^n \right)^2$$

- Agrupaciones binómica: Los coeficientes del polinomio siguen la fórmula del binomio de Newton

$$p(z) = (1+z)^{N-1} = \binom{N-1}{0} + \binom{N-1}{1} z + \binom{N-1}{2} z^2 + \ldots + \binom{N-1}{N-1} z^{N-1}$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Ceros del polinomio: permiten determinar de forma muy rápida las características de radiación de la agrupación.

- El polinomio de la agrupación uniforme se puede escribir de forma simplificada teniendo en cuenta que el polinomio es una serie geométrica de razón z.

$$p(z) = 1 + z + z^2 + z^3 + \dots.$$

$$p(z) = \sum_{n=0}^{N-1} z^n = \frac{z^{N-1}z - 1}{z-1} = \frac{z^N - 1}{z-1}$$

Los ceros del polinomio son los ceros del numerador, que son las raíces complejas N-ésimas de la unidad. Se exceptúa z=1 , que también se encuentra en el denominador.
Todas las raíces se encuentran en el plano complejo z sobre un círculo centrado en el origen de radio 1, que denominaremos círculo unidad

- Las agrupaciones triangulares se pueden escribir como el cuadrado de distribuciones uniformes, por lo que los ceros serán de orden 2, y corresponderán a las raíces de la distribución uniforme de la que deriven.

$$p(z) = \left(\sum_{n=0}^{\frac{N-1}{2}} z^n \right)^2 = \left(\frac{z^{\frac{N+1}{2}} - 1}{z-1} \right)^2$$

Las distribuciones binómicas tienen un cero de multiplicidad N situado en z=-1.

$$p(z) = (1+z)^{N-1}$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Factor de Array: se calcula a partir del polinomio p(z), sustituyendo la variable z por su valor complejo. Normalmente interesa conocer el módulo , que se puede obtener de una forma más simple a partir de la fórmula reducida de los polinomios.

- La agrupación uniforme, alineada a lo largo del eje z tiene el siguiente Factor de la agrupación

$$FA(\psi_z) = \frac{e^{jN\psi_z} - 1}{e^{j\psi_z} - 1}$$

$$FA(\psi_z) = \frac{e^{jN\psi_z} - 1}{e^{j\psi_z} - 1} = \frac{e^{j\frac{N\psi_z}{2}}}{e^{j\frac{\psi_z}{2}}} \frac{e^{j\frac{N\psi_z}{2}} - e^{-j\frac{N\psi_z}{2}}}{e^{j\frac{\psi_z}{2}} - e^{-j\frac{\psi_z}{2}}} = e^{j\frac{(N-1)\psi_z}{2}} \frac{\sin\left(\frac{N\psi_z}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\psi_z}{2}\right)}$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

- De igual forma se pueden obtener los factores de array para la agrupación triangular

$$FA(\psi_z) = \left(\frac{e^{j\frac{N+1}{2}\psi_z} - 1}{e^{j\psi_z} - 1} \right)^2$$

$$FA(\psi_z) = \left(\frac{\sin\left(\frac{N+1}{4}\psi_z\right)}{\sin\left(\frac{\psi_z}{2}\right)} \right)^2$$

- El factor de array de la distribución binómica será

$$\left|FA(\psi)\right| = \left|e^{j\psi} + 1\right|^{N-1} = \left(2\cos\frac{\psi}{2}\right)^{N-1}$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Anchos de haz entre ceros del factor de array: están directamente relacionados con la posición de los ceros en el plano complejo.

- En la agrupación uniforme el primer cero se encuentra situado a una distancia angular con respecto al máximo de

$$\psi_c = \frac{2\pi}{N}$$

- En la agrupación triangular todos los ceros son dobles, el primer cero se encuentra a

$$\psi_c = 2\frac{2\pi}{N+1}$$

- En la distribución binómica, todos los ceros están situados en el punto z=-1, por lo que

$$\psi_c = \pi$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Nivel de lóbulo principal a secundario :

• En la agrupación uniforme el máximo principal tiene una amplitud N, igual al número de elementos de la agrupación. El primer lóbulo secundario se produce aproximadamente para el primer máximo del numerador de la expresión

$$\left|FA(\psi)\right| = \left|\frac{\sin\left(N\frac{\psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)}\right|$$

El máximo se encuentra en $N\frac{\psi}{2} = \frac{3\pi}{2}$

Por lo tanto la relación de lóbulo principal a secundario será, aproximando la función seno por su argumento.

$$NLPS = \frac{N}{\dfrac{1}{\sin\left(\dfrac{3\pi}{2N}\right)}} \approx \frac{3\pi}{2} = 13.4dB$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

- En una agrupación triangular el factor de array viene dado por

$$FA(\psi)=\left(\frac{\sin\left(\frac{(N+1)}{2}\frac{\psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)}\right)^2$$

El primer lóbulo secundario se produce aproximadamente para

$$\frac{N+1}{4}\psi=\frac{3\pi}{2}$$

La relación de lóbulo principal a secundario sera por tanto el doble que para la uniforme, es decir 26.8 dB.

- En una distribución binómica el factor de la agrupación no tiene lóbulos secundarios

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Representación gráfica del factor de agrupación:

El factor de array se puede evaluar asignando valores a la variable compleja z, y calculando el valor del polinomio. Otra posibilidad es descomponer el polinomio a partir del conocimiento de sus ceros

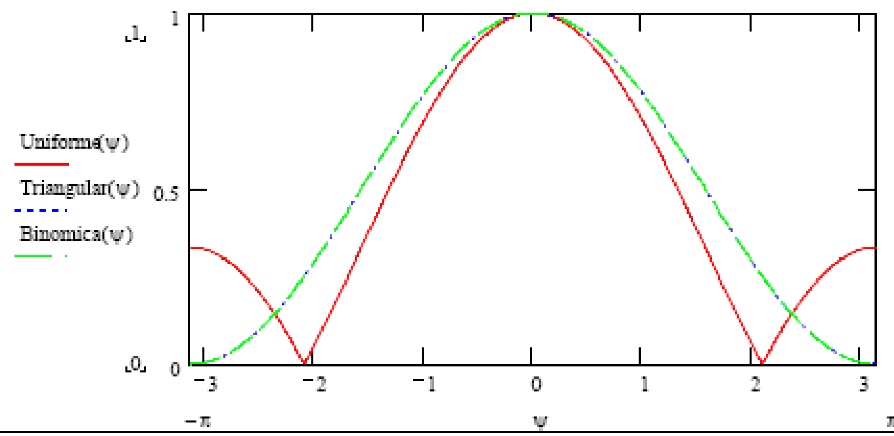
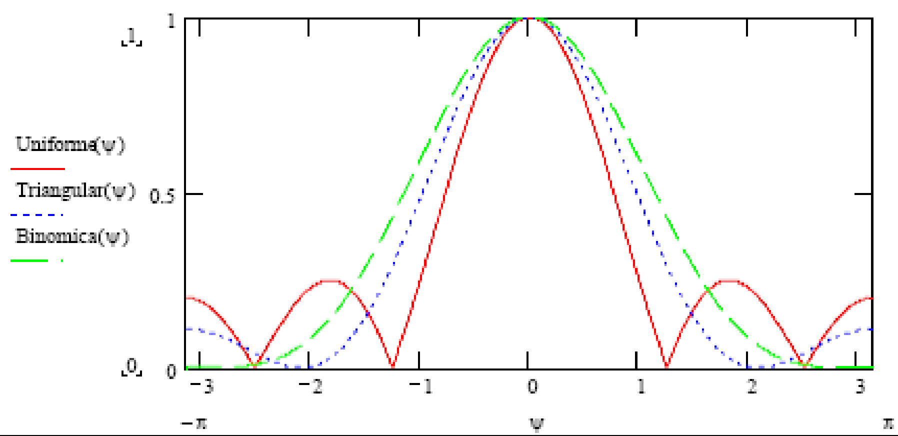
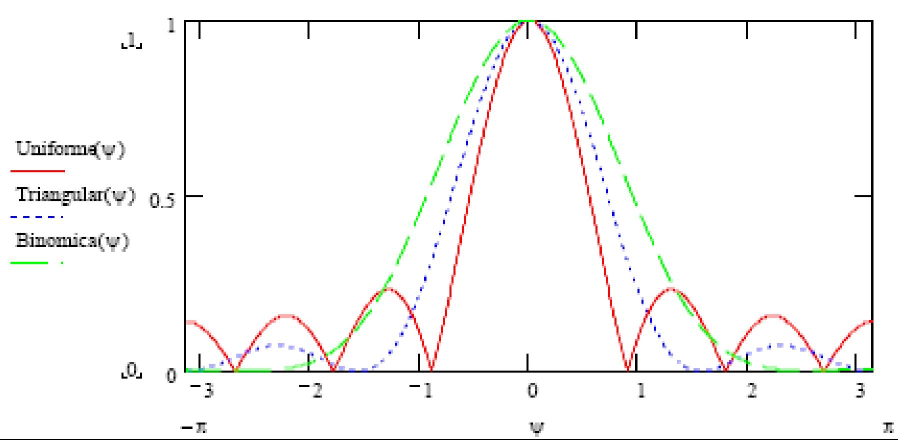
$$\sum_{n=0}^{N-1} a_n z^n = a_{N-1} \prod_{n=0}^{N-1} \left(z - z_n\right)$$

El factor de array se puede calcular como el producto de las distancias en el plano complejo de cada uno de los ceros al punto z, correspondientes a

$$z = e^{j\psi}$$

El factor de array es una función periódica, de período 2π, que define completamente las características de la agrupación.

La curva que representa al FA es la misma para todos los arrays que tengan los mismos coeficientes del polinomio, con independencia de la separación, frecuencia o fase progresiva.

<table>
<tr><th>N</th><th>Gráficas del Factor de Array</th></tr>
<tr><td>3</td><td>
</td></tr>
<tr><td>5</td><td>
</td></tr>
<tr><td>7</td><td>
</td></tr>
</table>

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Diagrama de radiación:

Se define como **margen visible** el conjunto de valores del ángulo eléctrico ψ que se corresponden con direcciones del espacio real tridimensional.

El margen visible se corresponde con los valores que toma la variable angular . Teniendo en cuenta la relación

$$\psi = kd\cos\theta + \alpha$$

Se obtiene el margen visible

$$\psi \in \left[\alpha - kd, \alpha + kd\right]$$

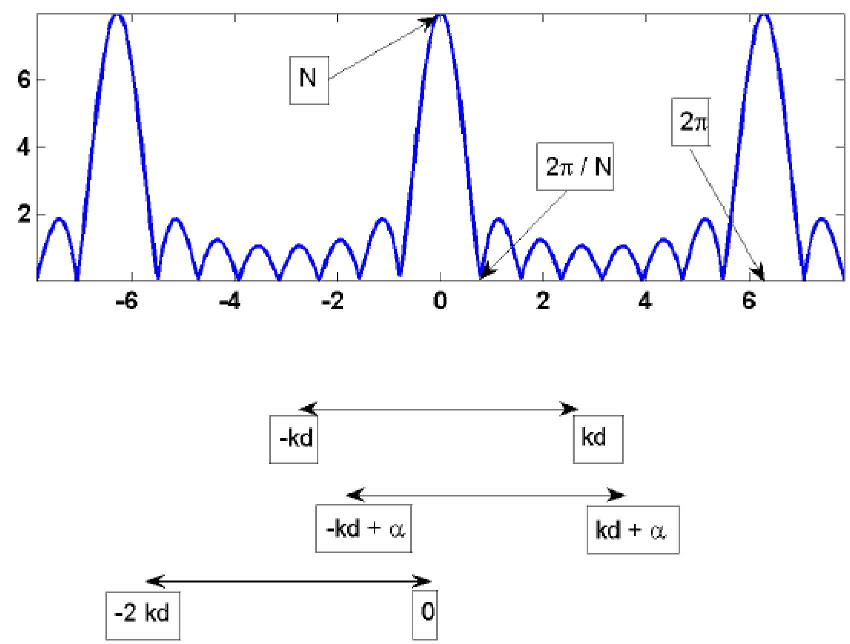
Si los coeficientes del polinomio de array son reales y positivos, el máximo del factor de array se produce para ψ=0, que corresponde con aquella dirección del espacio real que cumple la condición.

$$kd\cos\theta_m + \alpha = 0$$

$$\theta_m = \cos^{-1}\left(\frac{\alpha}{kd}\right)$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Para $|FA(\Psi)| = \left|\frac{\sin N\frac{\Psi}{2}}{\sin\frac{\Psi}{2}}\right|$,tener en cuenta (p. ej. eje z con $\Psi = kd\cos\theta + \alpha$):



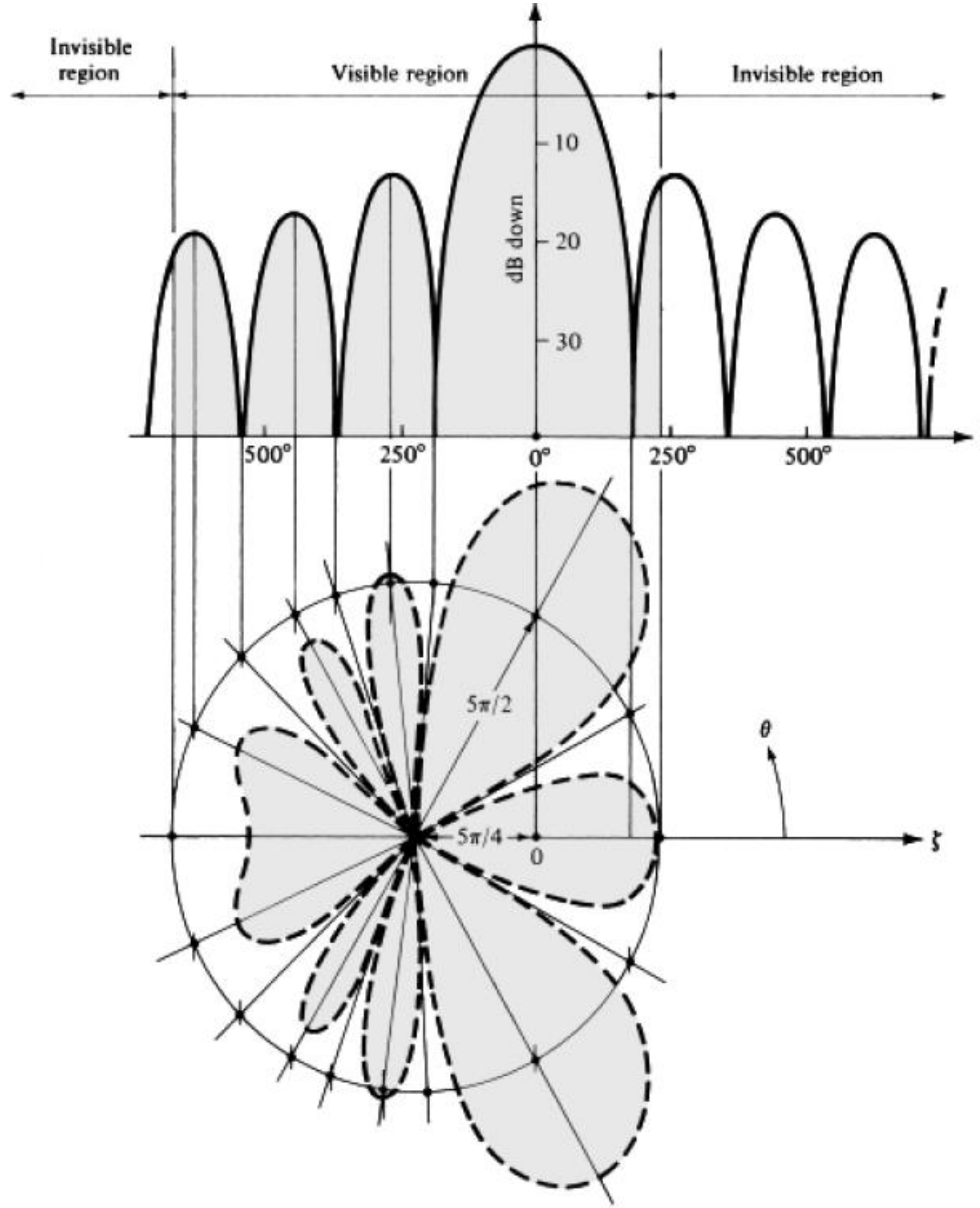


Figure 6.18 Rectangular-to-polar plot graphical solution.

AGRUPACIONES DE ANTENAS (ARRAYS)

- **Broadside array**: Es un array cuyo máximo de radiación se encuentra en θ = 90º
  El FA es máximo cuando:

$$\Psi = kd\cos\theta + \alpha = 0$$

$$\Psi = \alpha = 0$$

Todos los elementos del array excitados con la misma fase

d_{max}<λ para asegurar que no haya máximos en otras direcciones (grating lobes)

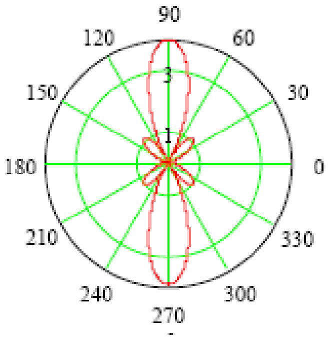
- **Endfire array**: Es un array cuyo máximo de radiación se encuentra en el eje del array θ = 0º, 180º
  El FA es máximo cuando:

$$\alpha = -kd$$

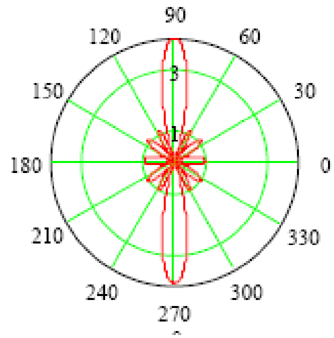
El número de máximos de radiación en el espacio real depende de la separación entre las antenas. Si dicha separación es menor que λ/2, tan sólo aparece un máximo principal

AGRUPACIONES DE ANTENAS (ARRAYS)

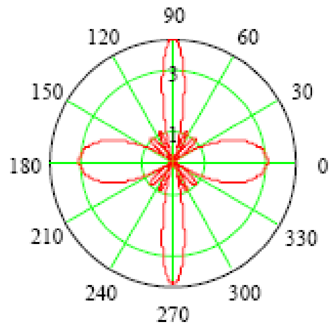
Efecto del espaciado



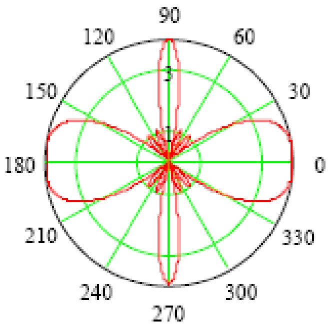
d=λ/2



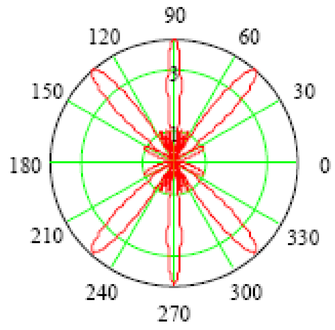
d=0.8λ



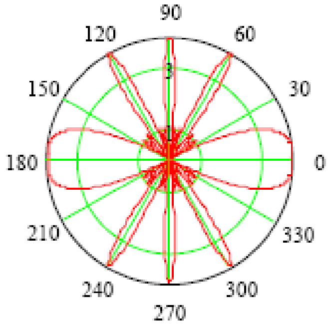
d=0.9λ



d=λ



d=3λ/2



d=2λ

El número de máximos depende de *d:*

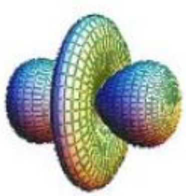
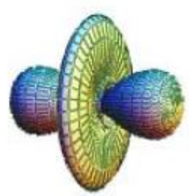
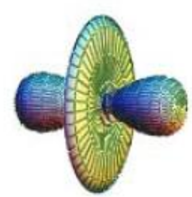
d<λ/2→1 máximo ppal

d> λ→ más de un máximo principal: aparecen **lóbulos de difracción** o **grating lobes**

Agrupación uniforme de 4 antenas en fase.

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

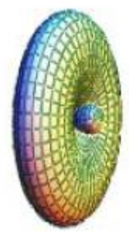
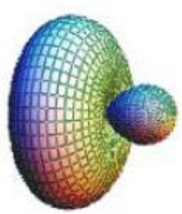
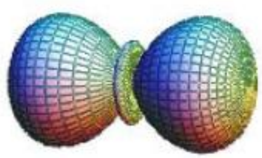
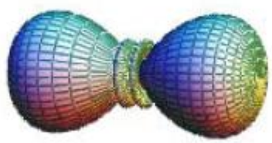
Efecto del número de elementos

d	N=2	N=3	N=4
$\lambda/4$			
$\lambda/2$			
λ			

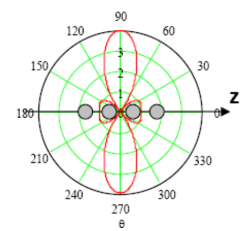
Para d=cte, si N aumenta, mayor dimensión→ aumenta la directividad o disminuye ancho de haz

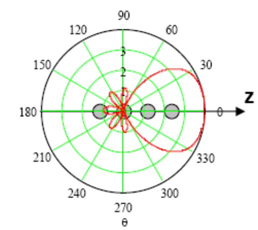
AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Efecto del desfase

α	N=2	N=3	N=4
0			
π/2			
π			

Las agrupaciones uniformes con fase variable pueden variar desde el caso broadside al endfire





AGRUPACIONES DE ANTENAS (ARRAYS)

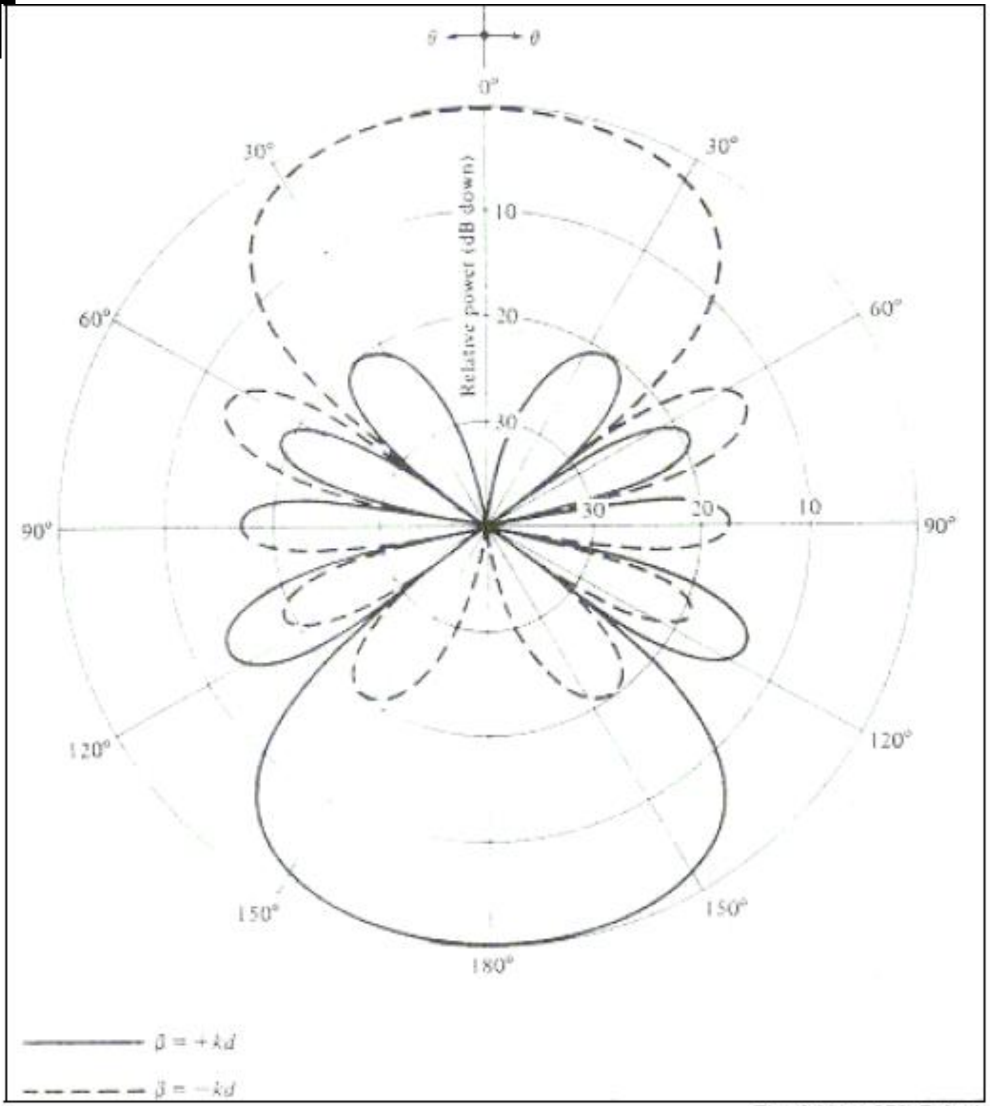


Fig. 6-11, p. 270, Balanis

AF pattern of an EFA: $N = 10$, $d = \lambda / 4$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

- **Phase (scanning) array**:
  El máximo de orden 0 del FA ocurre cuando:

  $$\Psi = kd\cos\theta + \alpha = 0$$

  Esto nos da la relación entre la dirección del haz ppal θ y el desfase α.

  La dirección del haz ppal se puede controlar con el desfase. Este es el principio básico del *barrido electrónico* de los phased arrays.

  El barrido debe ser continuo. Los sistemas de alimentación deben ser capaces de variar continuamente el desfase progresivo α entre los elementos.

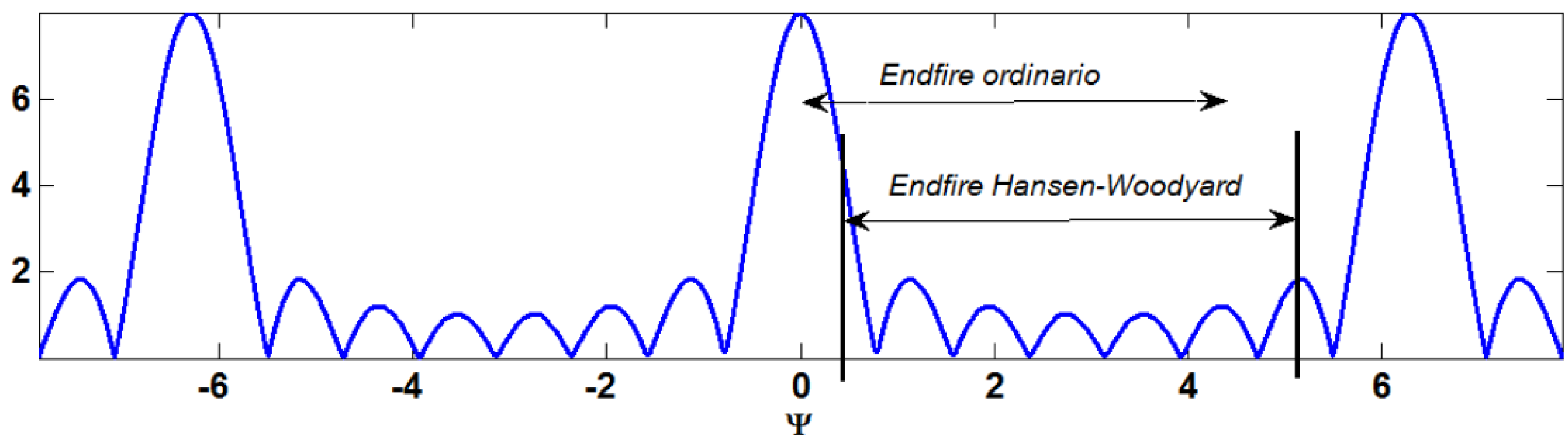
AGRUPACIONES DE ANTENAS (ARRAYS)

Agrupacion uniforme endfire superdirectiva:

El desfase progresivo sólo asegura que el campo sea máximo en una dirección, pero utilizando un nuevo desfase progresivo, conocido como la condición de Hansen-Woodward, se consigue optimizar la directividad

$$\alpha = \pm\left(kd + \frac{\pi}{N}\right) \quad , \quad d < \frac{\lambda}{2}\left(1 - \frac{1}{N}\right)$$

El aumento de la directividad se hace a costa de aumentar la relación de LP a LS (NLPS) y radiar menor potencia en la dirección del máximo, ya que todas las antenas no se suman en fase. El M.V. no contiene al máximo del FA.



ARRAYS UNIFORMES ESPECIFICOS

Directividad de las agrupaciones

A partir del patrón de radiación de un array, podemos obtener su directividad

Utilizamos $D = \frac{4\pi}{\Omega}$, por tanto buscamos Ω

$$\Omega = \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \left| DR(\theta,\phi) \right|^2 d\Omega = 2\int_0^{\pi} \left| DR(\theta) \right|^2 \sin\theta d\theta$$

$$\Omega = 2\pi \int_{kd+\alpha}^{-kd+\alpha} \left| DR(\Psi) \right|^2 \left(-\frac{1}{kd} \right) d\Psi =$$

Si la agrupación es uniforme, el cuadrado del factor puede obtenerse a partir del desarrollo en serie de Fourier del polinomio:

$$\left| \frac{1}{N} p(z) \right|^2 = \left| \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} z^n \right|^2 = \ldots = \frac{1}{N^2} \left(N + \sum_{n=1}^{N-1} (N-n)\left(z^n + z^{-n}\right) \right)$$

ARRAYS UNIFORMES ESPECIFICOS

Directividad de las agrupaciones

Por tanto: $$\left|DR(\Psi)\right|^2 = \frac{1}{N} + \frac{2}{N^2}\sum_{n=1}^{N-1}(N-n)\cos(n\Psi)$$

Haciendo la integral:

$$\Omega = \frac{4\pi}{N} + \frac{4\pi}{N^2}\sum_{n=1}^{N-1}\frac{(N-n)}{nkd}2\cos(n\alpha)sen(nkd)$$

$$D = \frac{4\pi}{\Omega} = \frac{1}{\frac{1}{N} + \frac{2}{N}\sum_{n=1}^{N-1}\frac{(N-n)}{nkd}2\cos(n\alpha)sen(nkd)}$$

En el caso ***broadside,*** espaciado grande y número entero de λ/2:

$$sen(nkd) = sen\left(n\frac{2\pi}{\lambda}d\right) = sen(n\pi) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{D = N}$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Para diseñar un sistema con unas determinadas características de radiación (anchos de haz, directividad, posición de los ceros,…) se pueden utilizar diversos métodos:

- Síntesis de Fourier
- Síntesis de Schelkunoff
- Síntesis de Tschebyscheff

SÍNTESIS DE AGRUPACIONES

Síntesis de FOURIER

El FA es una función periódica en ψ y por tanto admite desarrollo en serie de Fourier

$$FA(\Psi) = \sum_{n=-N}^{N} a_n e^{jn\Psi} = \ldots = a_0 + \sum_{n=1}^{N} \left(b_n \cos n\Psi + c_n sen\, n\Psi \right)$$

$$con \quad b_n = a_n + a_{-n} \quad y \quad c_n = a_n - a_{-n}$$

La síntesis consiste en obtener el FA a partir del DR especificado. Tres casos:

- con d = λ/2 , la relación es biunívoca entre el FA y el DR (lo vemos);
- con d < λ/2 , hay que completar el FA en los puntos fuera del margen visible;
- con d > λ/2, no siempre se puede realizar el diseño.

SÍNTESIS DE AGRUPACIONES

Síntesis de FOURIER. Ejemplo

Buscamos aproximar un DR constante en un intervalo angular y nulo en el resto:

$$DR(\theta) = \begin{cases} 1, & \text{si } \frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{3\pi}{4} \\ 0, & \text{si } 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{4} \text{ o si } \frac{3\pi}{4} \leq \theta \leq \pi \end{cases}$$

- Elegimos $d = \lambda/2$ y desfase 0, entonces $FA(\Psi)$ es periódica (2π) en Ψ.
- Hacemos un cambio de variable y vemos que:

$$DR(\Psi) = \begin{cases} 1, & \text{si } \frac{-\pi}{\sqrt{2}} \leq \Psi \leq \frac{\pi}{\sqrt{2}} \\ 0, & \text{si } -\pi \leq \Psi \leq \frac{-\pi}{\sqrt{2}} \text{ o si } \frac{\pi}{\sqrt{2}} \leq \Psi \leq \pi \end{cases}$$

- Por tanto, su Serie de Fourier es:

$$FA(\Psi) = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi}{\sqrt{2}}\right) \cos(n\Psi) =$$

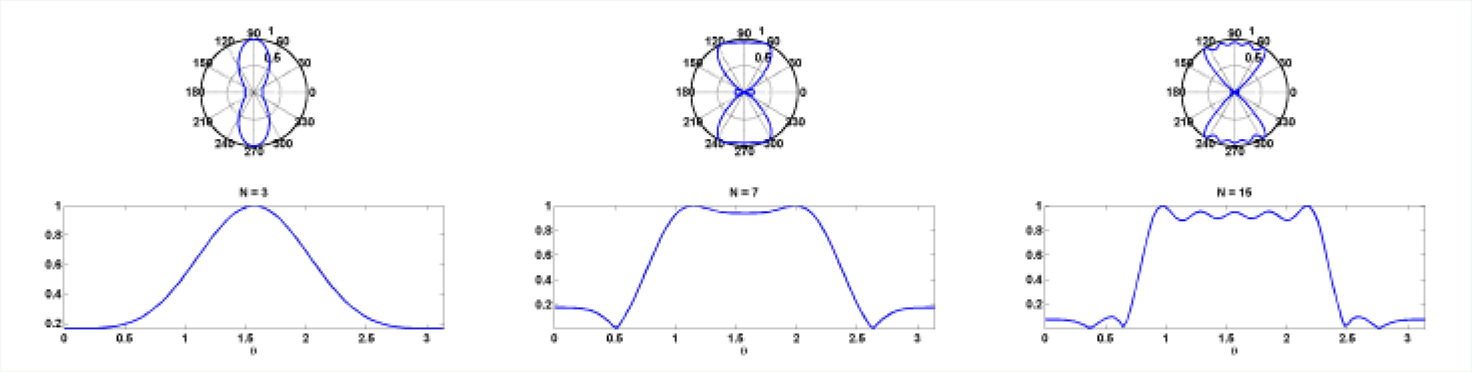
$$= \frac{1}{\sqrt{2}} + 0{,}508 \cos\Psi - 0{,}308 \cos(2\Psi) + 0{,}079 \cos(3\Psi) - \ldots$$

SÍNTESIS DE AGRUPACIONES

Síntesis de FOURIER. Ejemplo

- Así, el polinomio para una agrupación de 7 antenas es:

$$p(z) = 0{,}039z^{-3} - 0{,}153z^{-2} + 0{,}253z^{-1} + 0{,}707 + 0{,}253z - 0{,}153z^{2} + 0{,}039z^{3}$$

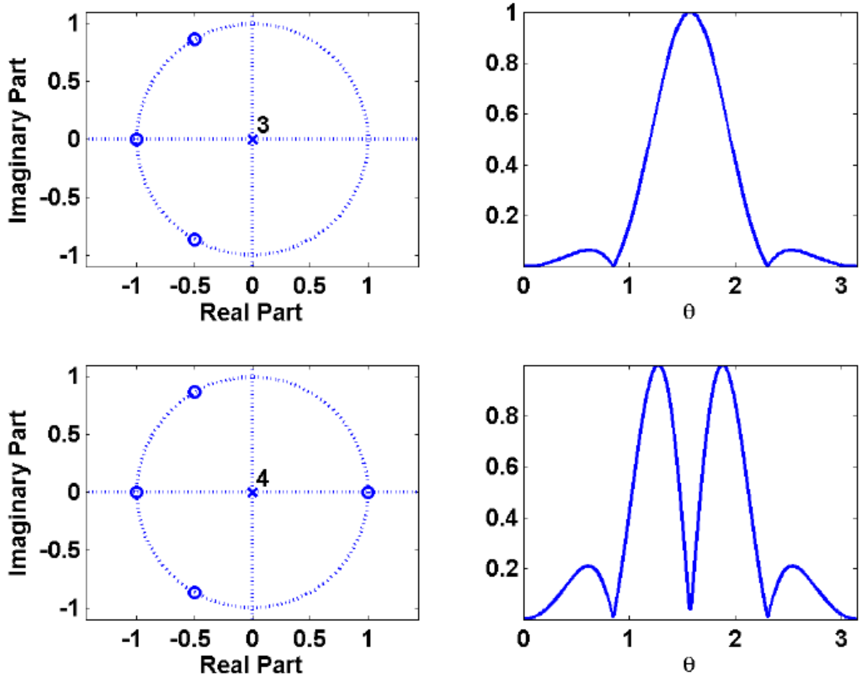


SÍNTESIS DE AGRUPACIONES

Síntesis de SCHELKUNOFF

El FA está relacionado con la posición de los ceros en el plano complejo:

$$FA(z) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n z^n = a_{N-1} \prod_{n=0}^{N-1} (z - z_n)$$



El método consiste en situar los ceros del polinomio en los ceros del diagrama. También permite disminuir el ancho de haz o modificar la amplitud de un lóbulo secundario.

SÍNTESIS DE AGRUPACIONES

Síntesis de TSEBYSCHEFF

Los polinomios de Tshebyscheff se definen de forma recursiva, y todos cumplen unas propiedades interesantes para el diseño de antenas.

Se obtienen mediante, $T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x)$ y así:

$$T_0 = 1 \qquad T_3 = 4x^3 - 3x$$
$$T_1 = x \qquad T_4 = 8x^4 - 8x^2 + 1$$
$$T_2 = 2x^2 - 1 \qquad T_5 = 16x^5 - 20x^3 + 5x$$

Tienen todos los ceros en $-1 < x < 1$, están acotados ($|T_n(x)| \leq 1$), y crecen fuera. Además, todos los lóbulos secundarios tienen la misma amplitud.

SÍNTESIS DE AGRUPACIONES

Síntesis de TSEBYSCHEFF

Fijamos el máximo y el orden. El FA se expresa:

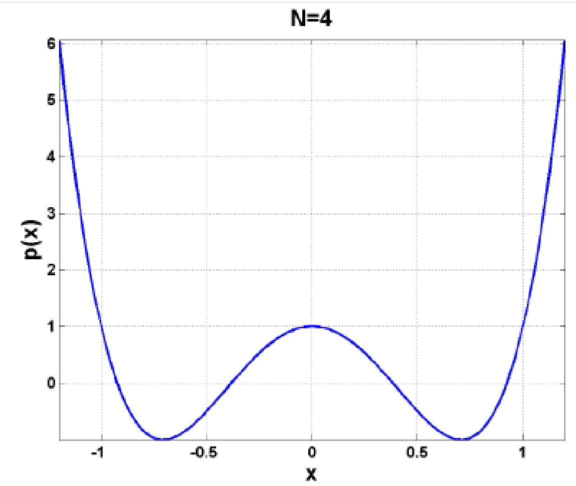
$$FA(\Psi) = T_n\left(x_0 \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right)\right)$$

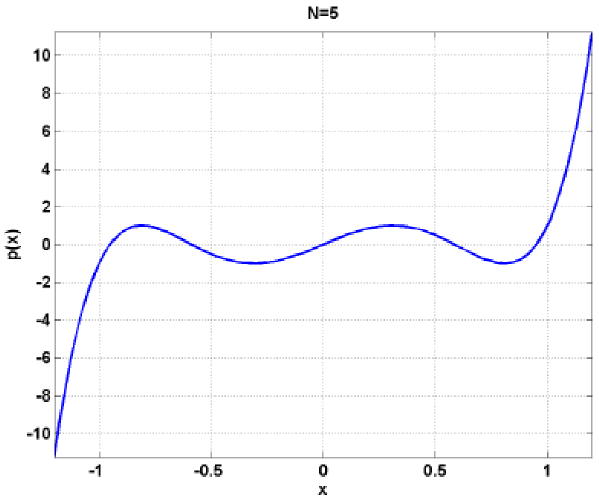
Máximo en $FA(0)=T_n(x_0\cos 0)=T_n$

Permite elegir el NLPS$=T_n(x_0)/1=T_n(x_0)$

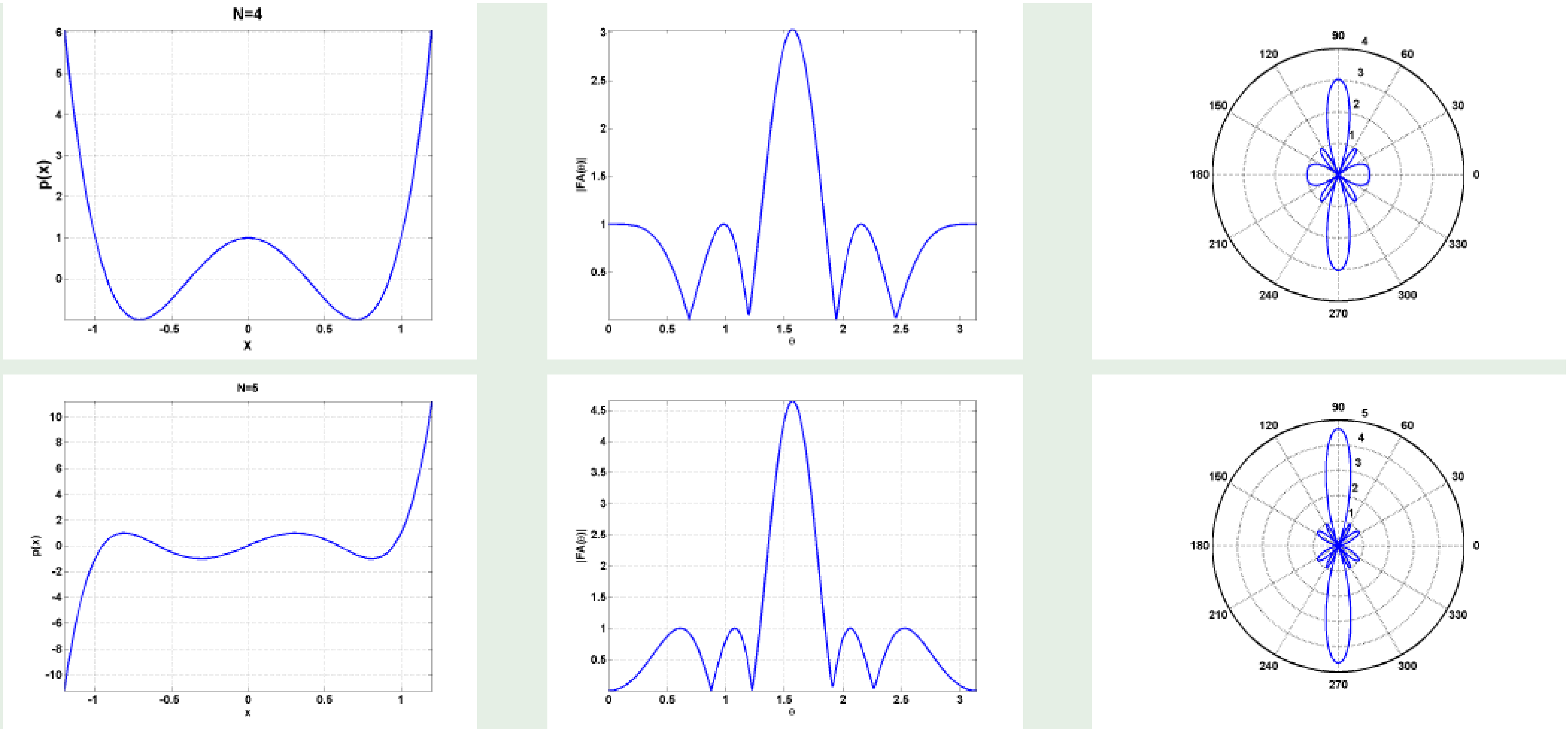
Polinomio:

$$p(z) = T_n\left(x_0\left(\frac{z^{1/2}+z^{-1/2}}{2}\right)\right)$$





SÍNTESIS DE AGRUPACIONES



AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

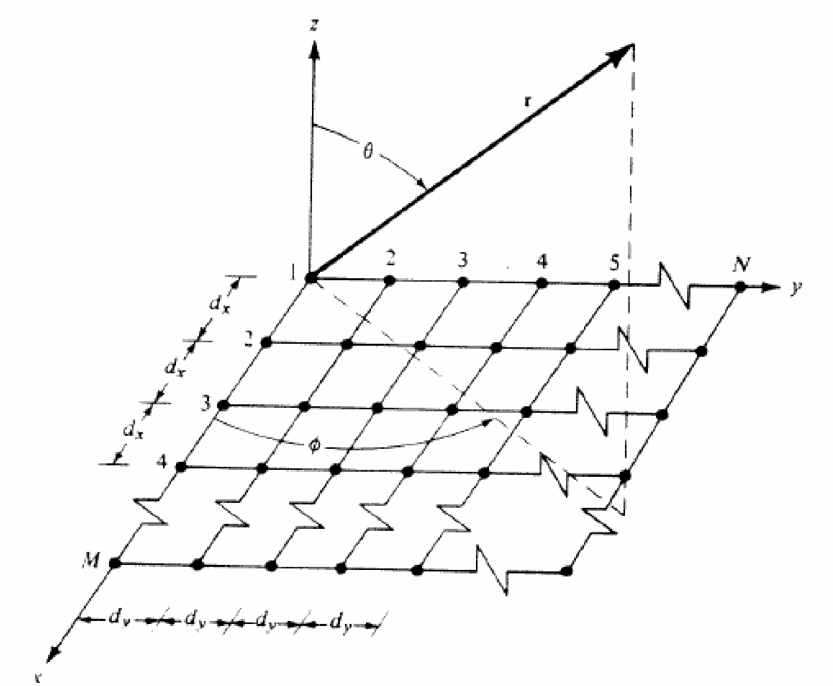
ARRAYS PLANOS

- Las agrupaciones planas proporcionan haces direccionales, diagramas de radiación simétricos con bajos lóbulos laterales, directividad mucho mayor que los elementos individuales.
- En principio, pueden apuntar el haz en cualquier dirección
- Aplicaciones en radares de seguimiento, sensores remotos, comunicaciones, etc

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

El **Factor de Array** de una agrupación plana es:

$$FA = \sum_{n=1}^{N} I_{1n} \left[\sum_{m=1}^{M} I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x sen\theta \cos\phi + \alpha_x)} \right] \cdot e^{j(m-1)(kd_y sen\theta sen\phi + \alpha_y)}$$



$$FA_n(\theta,\phi) = \left[\frac{1}{M} \frac{sen\left(M \frac{\Psi_x}{2}\right)}{sen\left(\frac{\Psi_x}{2}\right)} \right] \left[\frac{1}{N} \frac{sen\left(N \frac{\Psi_y}{2}\right)}{sen\left(\frac{\Psi_y}{2}\right)} \right]$$

con

$$\Psi_x = kd_x sen\theta \cos\phi + \alpha_x$$

$$\Psi_y = kd_y sen\theta \cos\phi + \alpha_y$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

El máximo ppal y los grating lobes de los términos:

$$S_{x_M} = \frac{1}{M} \frac{sen\left(M\frac{\Psi_x}{2}\right)}{sen\left(\frac{\Psi_x}{2}\right)} \quad y \quad S_{y_N} = \frac{1}{N} \frac{sen\left(N\frac{\Psi_x}{2}\right)}{sen\left(\frac{\Psi_x}{2}\right)}$$

Están localizados en los ángulos tales que:

$$kd_x sen\theta_m \cos\phi_m + \alpha_x = \pm 2m\pi, \quad m = 0,1...$$
$$kd_y sen\theta_n \cos\phi_n + \alpha_y = \pm 2n\pi, \quad n = 0,1...$$

El máximo ppal corresponde a m=0, n=0.

En general, α_x y α_y son independientes entre si, pero si se requiere que los máximos intercepten, el haz ppal está en la dirección:

$$\boxed{\theta = \theta_0 \quad y \quad \phi = \phi_0\,, \quad m = n = 0}$$

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Y las fases progresivas deben satisfacer:

$$\alpha_x = -kd_x sen\theta_0 \cos\phi_0$$
$$\alpha_y = -kd_y sen\theta_0 \cos\phi_0$$

Si las fases están especificadas, podemos hallar la dirección del haz ppal:

$$\tan\phi_0 = \frac{\alpha_x d_x}{\alpha_y d_y},$$

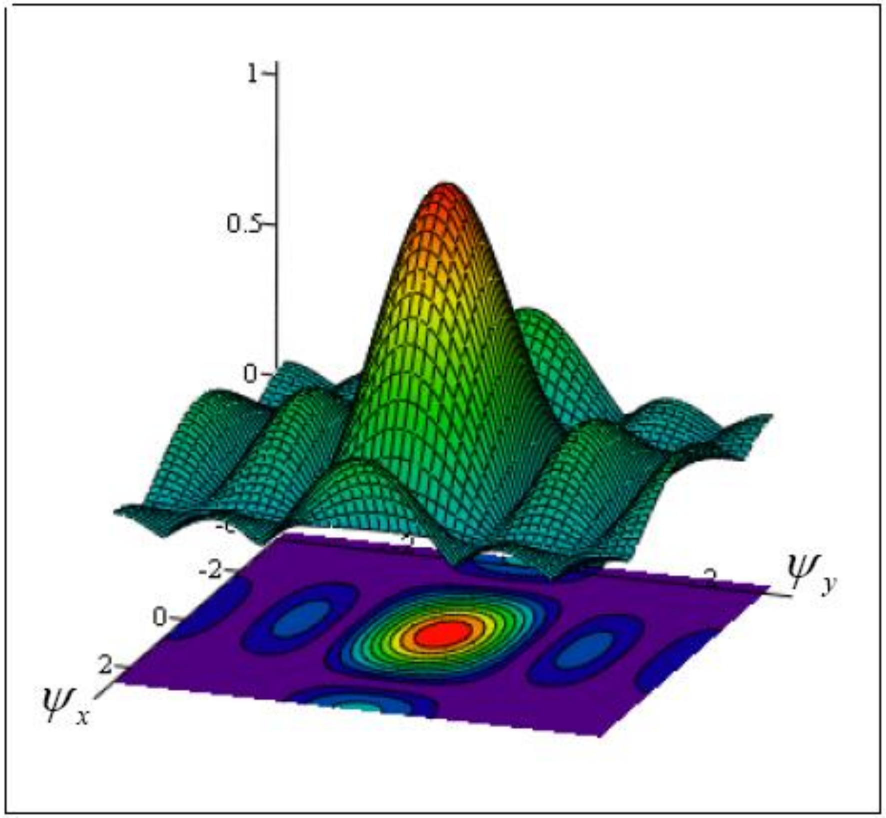
$$sen\theta_0 = \pm\sqrt{\left(\frac{\alpha_x}{kd_x}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_y}{kd_y}\right)^2}$$

Para que no aparezcan lóbulos de difracción, ambas:

$$d_x < \lambda$$
$$d_y < \lambda$$

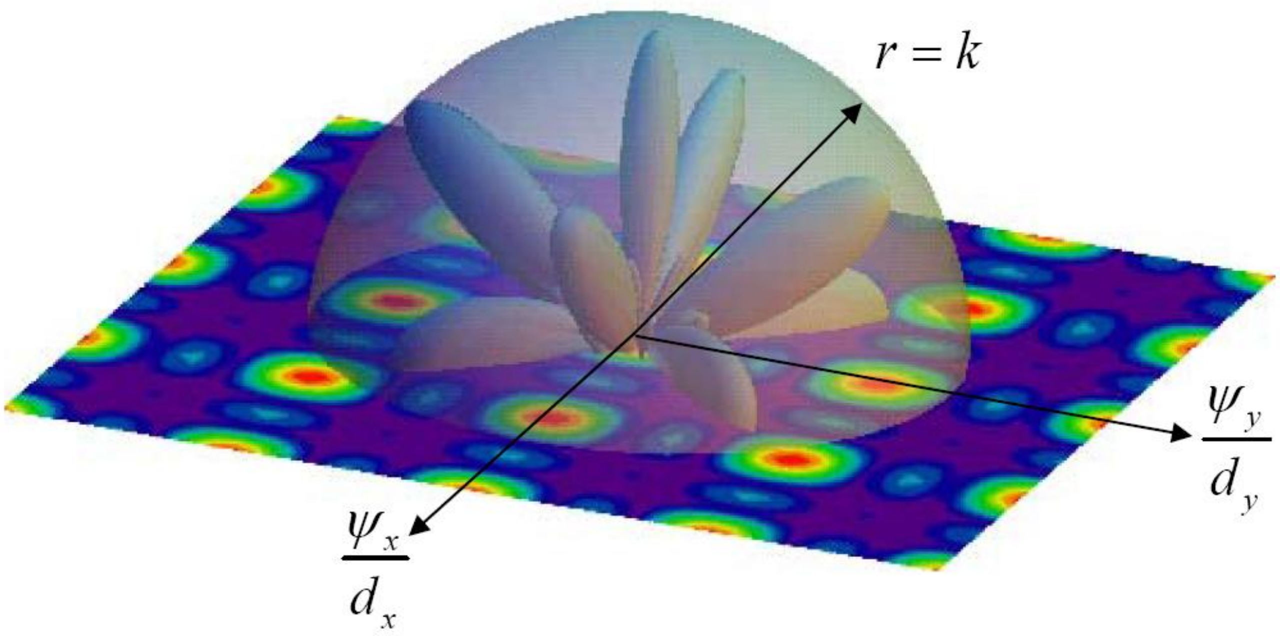
AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

La representación gráfica del FA se puede realizar en forma de superficies o de curvas de nivel.



Agrupación uniforme de 3x5 antenas con espaciado λ/2

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)



Representación plana del MV 3D y D.R. para una agrupación uniforme plana de 3x3 antenas

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

Agrupaciones de antenas alimentadas en fase y espaciado λ/2.

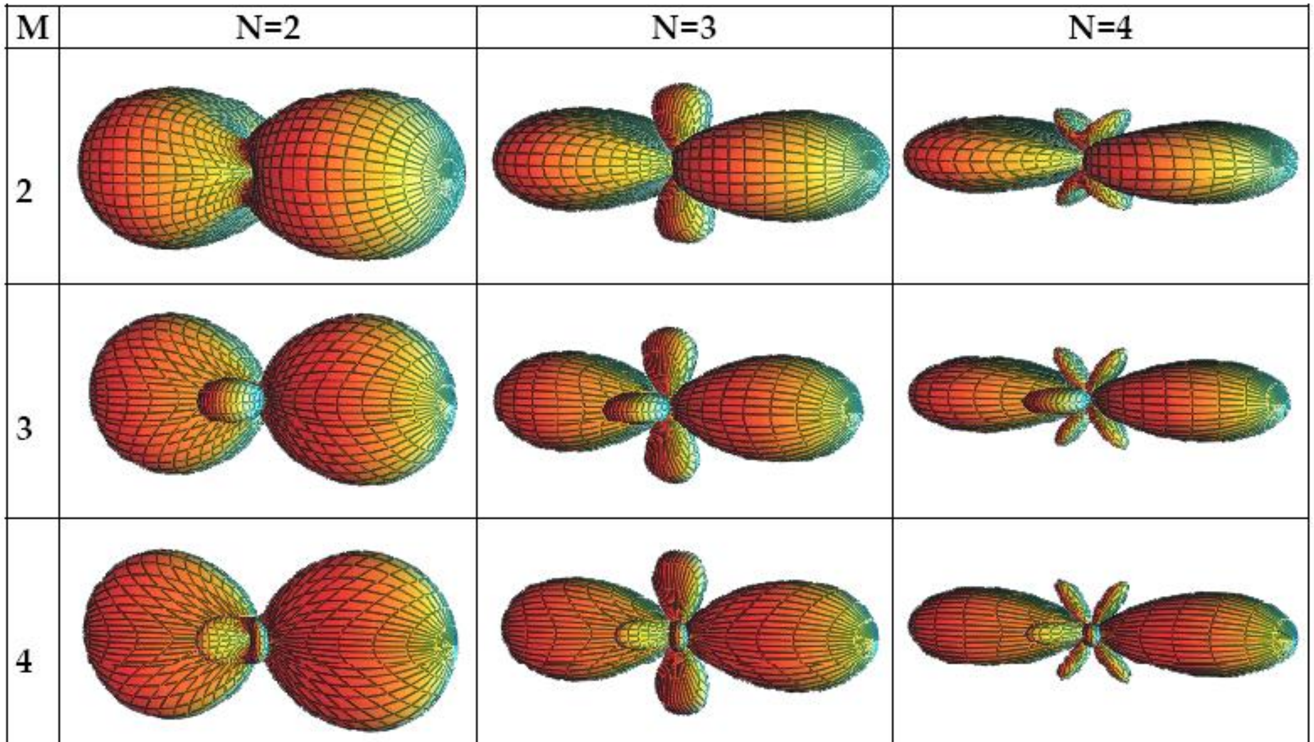


Tabla comparativa de agrupaciones planas de MxN antenas.
El espaciado es $d_x = \lambda / 2 \quad d_y = \lambda / 2$. Los desfases son $\alpha = \beta = 0$

Aumentando el nº de antenas mejora la directividad.

Agrupaciones cuadradas, haz de tipo pincel

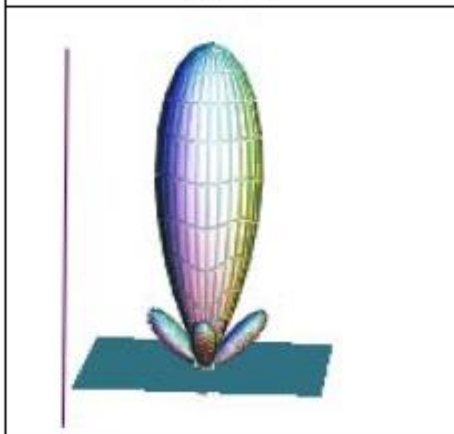
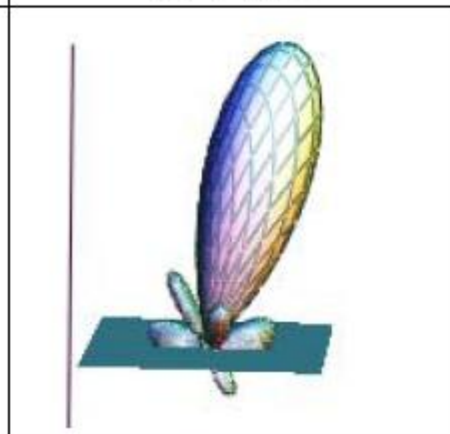
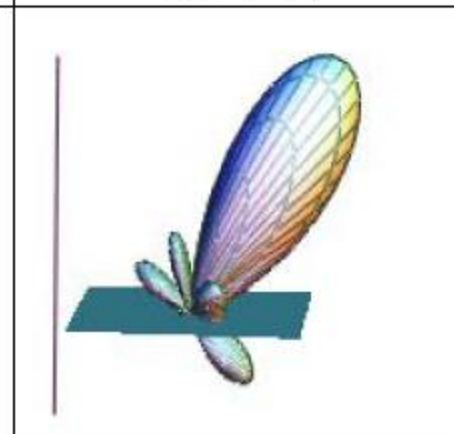
Agrupaciones rectangulares, diagramas tipo abanico

AGRUPACIONES DE ANTENAS. (ARRAYS)

- Agrupaciones planas controladas por fase

  modificando la fase progresiva α_x se consigue modificar la orientación del haz en el plano XZ

  modificando la fase progresiva α_y se consigue modificar la orientación del haz en el plano YZ

$\alpha = 0$	$\alpha = -\pi / 4$	$\alpha = -\pi / 2$
		

Agrupación uniforme de 4x4 antenas. Espaciado λ/2

ANTENAS INTELIGENTES

- La idea más sencilla para mejorar la comunicación sería ***disponer de varias antenas*** a las cuales se pudiera acceder de manera individual.

  - En cada momento, se cambiaría a la que tuviera el diagrama de radiación más adecuado de acuerdo a algún criterio de optimización de señal deseada frente a interferencias.

  - Sólo una de las *N* antenas estaría funcionando en un momento dado: se estarían desaprovechando las ventajas de tener muchas antenas "*colaborando*" (array).

- Por otro lado, ya se ha comentado que el ***diagrama de radiación de un array se puede variar sin más que modificar la excitación de cada antena individual adecuadamente.***

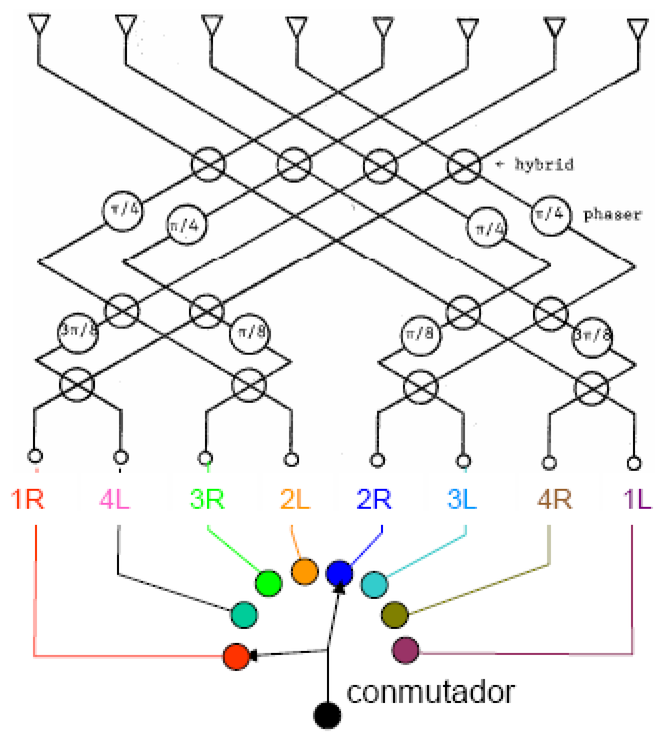
- En conclusión, una mejor opción es que las *N* antenas funcionen como una única antena array, y conmutar entre redes de distribución distintas de acuerdo al criterio de optimización. Este es el inicio de las ***antenas inteligentes***.

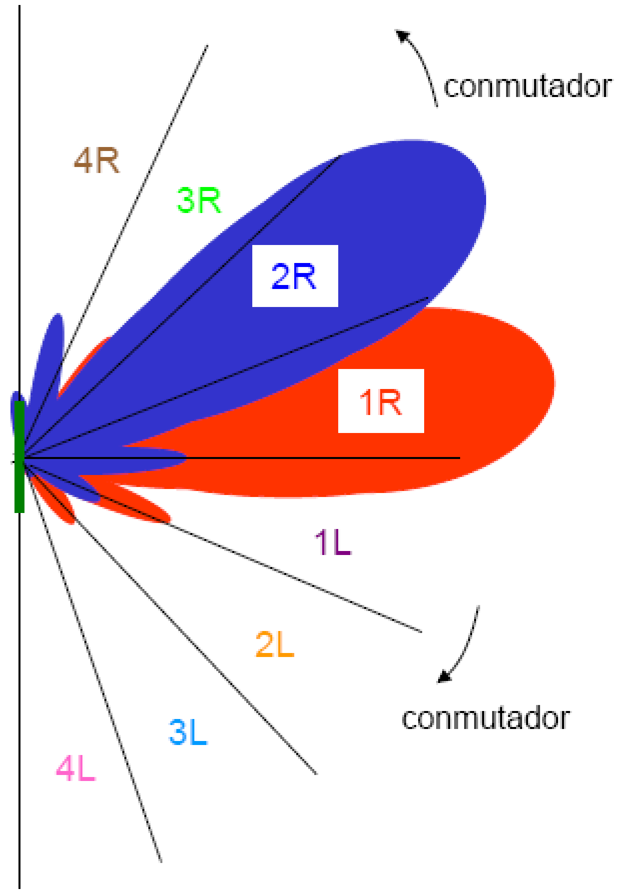
  - Se tienen *N* redes de distribución entre las que se conmuta.

  - De esta manera, en todo momento las *N* antenas están colaborando, se tiene un array.

ANTENAS ACTIVAS Y ADAPTATIVAS

➢ ***Antena de haces conmutados*** (swicthed): array en el que la excitación de cada antena individual se puede modificar entre ciertos valores, consiguiendo cada vez un haz (diagrama) de radiación distinto





- Si en vez de conmutar, se utiliza un transmisor en cada entrada, se tendrían los distintos haces dedicados a comunicaciones distintas

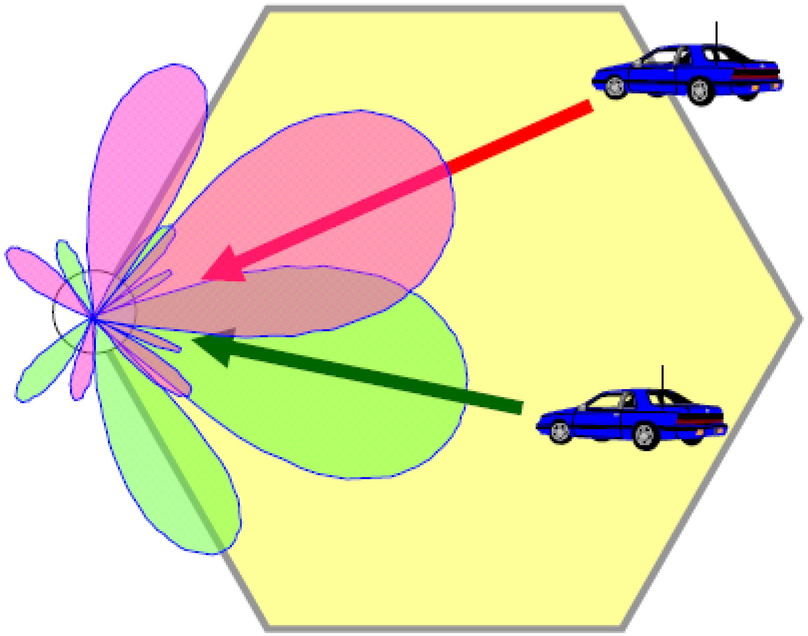
ANTENAS ACTIVAS Y ADAPTATIVAS

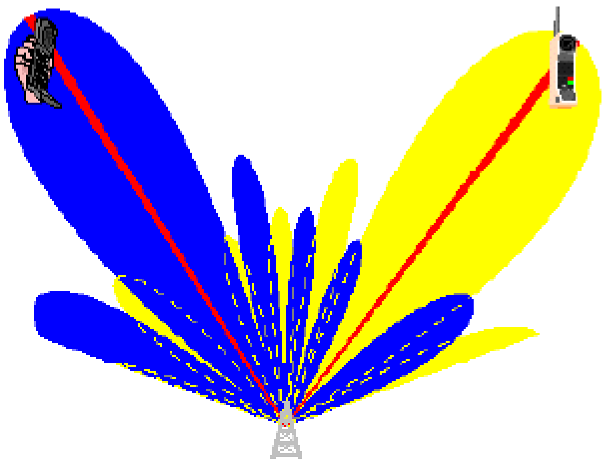
➢ Antenas inteligentes. Diferencia entre antenas de haces conmutados y antenas adaptativas:

- Las antenas de haces conmutados sólo pueden cambiar entre ciertos diagramas preestablecidos, entre los que probablemente no estará el óptimo para un momento dado. Las antenas adaptativas buscan el óptimo en cada momento.

ANTENAS ACTIVAS Y ADAPTATIVAS

➢ Antenas adaptativas (cont.)





- Cada usuario "tiene" un diagrama de radiación asociado.

- Se consigue un filtrado espacial muy efectivo, con lo que se puede incrementar la capacidad de los sistemas celulares al dividir cada célula en un conjunto de zonas con suficiente aislamiento.

ANTENAS ACTIVAS Y ADAPTATIVAS

➢ Conclusiones. Ventajas de las antenas adaptativas:

- Mayor ganancia de antena.
- Menor interferencia de otros usuarios.
- Menor interferencia de emisiones ajenas al sistema

- Menor potencia.
- Mayor número de usuarios.
- Mejor calidad de recepción
- Mayores opciones de servicios.

Característica/Tipo de antena: **Sectorial** **Haz conmutado** **Adaptativa**

Capacidad

Cobertura

Calidad

Servicios

Precio

Complejidad

ANTENAS ACTIVAS Y ADAPTATIVAS

Radar LANZA 3D

- 4 arrays de 11 filas
- 56 elementos radiantes (dipolos) por fila