# DISEÑO DE APERTURAS BIDIMENSIONALES DISPERSAS EN BASE A LA ESTADÍSTICA DE PASEO ALEATORIO

Óscar Martínez-Graullera, Virginia Yagüe-Jiménez, Alberto Ibañez, Montserrat Parrilla

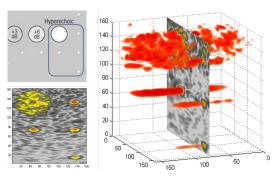
Grupo de Procesamiento de Señales en sistemas Ultrasónicos Multicanal (MUSP) Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información (ITEFI) Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

October 3, 2017

## La imagen ultrasónica



La imagen ultrasónica en una de las técnicas de diagnóstico más utilizadas



El futuro de la imagen ultrasónica esta en la imagen 3D:

- Diseño de aperturas 2D.
- Diseño de instrumentación compleja.
- ► El desarrollo de nuevas técnicas de imagen.





## Imagen 3D: la apertura



#### Diseño de aperturas bidimensionales:

- ► El área de apertura determina la resolución lateral de la imagen.
- La densidad de la apertura debe garantizar una distancia de  $\lambda/2$  entre elementos próximos.

Prestaciones de los arrays lineales y matriciales:

Array 1D $(N_e)$	32	64	96	128	256
Array 2D (N <sub>e</sub> )	1024	4096	9216	16384	65536
Resolución (-6dB)	30	1.6°	$1.1^{o}$	$0.8^{o}$	$0.4^{o}$
Rango Dinámico	-45dB	-55dB	-59dB	-62dB	-70dB

La tecnología permite implementar aperturas de miles de elemento.

El desarrollo de sistemas que puedan manejar simultáneamente un gran número de elementos supone un reto





## Imagen 3D: el sistema



#### Soluciones para arrays matriciales:

- Separable Beamforming
- Rectilinear Scanning.
- Phased Subarray Beamforning
- Microbeamforming.

Soluciones técnicas que simplifican el control pero sacrifican prestaciones:

- Soluciones de complejidad tecnológica.
- Resolución lateral.
- Rango dinámico.
- Velocidad de adquisición.





## Alternativa: la Imagen Sintética



Imagen Sintética: captura independiente de todas las señales

- Permite un análisis más completo de la información.
- Precisa de una gran capacidad de procesamiento: alta calidad de imagen.
- Adquisición de imagen relacionada con N<sub>e</sub> y el paralelismo del sistema.

El número de elementos es un compromiso entre el rango dinámico y las prestaciones del sitema.

**Aperturas dispersas**: reducir el número de elementos activos en la apertura.

- Aperturas matriciales: aleatorias, optimizadas, etc.
- Aperturas con distribución no regular: espirales, etc.

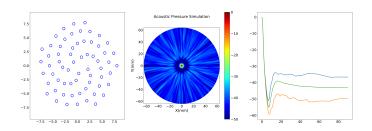
Alcanzar los 60dB de rango dinámico exige al menos 1000 elementos





## Aperturas Fermat 64e





- Diametro: 64λ
- ► N<sub>e</sub>: 64

Prestaciones (BW: 60%):

- Resolución lateral : 1.6°
- ► Rango Dinámico: 35dB

Apertura sintética: TFM

- 64 disparos por imagen
- GPGPU beamforming
  - ROI focalizada
  - 30 img/seg

Los lóbulos estan formados por el 2% de los elementos

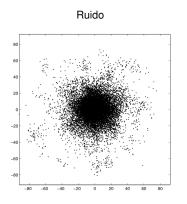


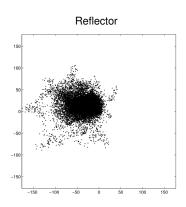


## Distribución de las muestras en un punto



$$\mathbf{A}[k,l] = {\hat{s}_{i,j}[k,l]}, \quad i = {i_1, \dots, i_N}, \quad j = {j_1, \dots, j_N}$$

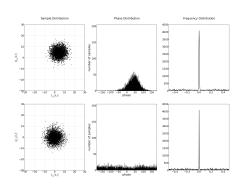






## Análisis de la distribución de las fases





$$P(\phi) = \sum_{l=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} \delta[\phi - \phi_{l,j}[k,l]]$$

$$\Phi(\phi) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(\phi - m2\pi) * P(\phi)$$

Construimos una señal periodica y buscamos el valor de la distribución unimodal a través del desarrollo en serie de Fourier.

$$c_n[k,l] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P(\phi) e^{-i2\pi \frac{n}{2\pi} \phi} d\phi = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=l_1}^{l_N} \sum_{j=l_1}^{j_N} e^{-in\phi_{i,j}[k,l]}$$





## RandomWalk Beamformer



#### Calculamos el componente de primer orden:

$$c_{1}[k, l] = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=i_{1}}^{i_{N}} \sum_{j=j_{1}}^{j_{N}} e^{-i\phi_{i,j}[k, l]}$$

$$= \frac{1}{2\pi} \sum_{i=i_{1}}^{i_{N}} \sum_{j=j_{1}}^{j_{N}} \cos(\phi_{i,j}[k, l]) - i \frac{1}{2\pi} \sum_{i=i_{1}}^{i_{N}} \sum_{j=j_{1}}^{j_{N}} \sin(\phi_{i,j}[k, l])$$

$$= \frac{1}{2\pi} \sum_{i=i_{1}}^{i_{N}} \sum_{j=j_{1}}^{j_{N}} \frac{I_{i,j}[k, l]}{\mathbf{S}_{i,j}[k, l]} - i \sum_{i=i_{1}}^{i_{N}} \sum_{j=j_{1}}^{j_{N}} \frac{Q_{i,j}[k, l]}{\mathbf{S}_{i,j}[k, l]}$$

$$RWB[k, l] = \frac{2\pi}{i_N \times j_N} |c_1[k, l]| = \frac{1}{N_m} \left| \sum_{i=1}^{N_m} \frac{I_i[k, l]}{\mathbf{S}_i[k, l]} - \mathsf{i} \sum_{i=1}^{N_m} \frac{Q_i[k, l]}{\mathbf{S}_i[k, l]} \right|$$

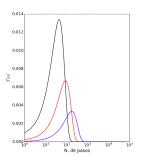




# Estadistica del paseo aleatório



#### Distribución de Rayleigh:



$$\Gamma[n] = \frac{2n}{N_m} \exp^{-n^2/N_m}$$

$N_e$	$N_m$	99.99%	$N_u(\%)$
64	4096	238	5%
96	9216	357	4%
128	16380	476	3%
256	65636	952	1.5%

Mínimo número de coincidencias con significación estadística

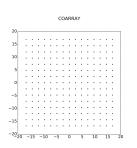
Objetivo: generar una distribución que haga que su patron de interferencias pueda ser destruido por el efecto no lineal de la conformación RandomWalk.

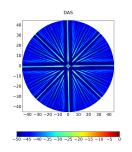


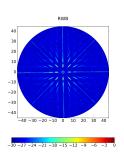


# RWB: Apertura matricial $8 \times 8$









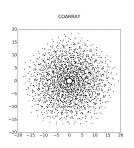
 $N_e$ : 64; Diametro: 64 $\lambda$  (rejilla: 4 $\lambda$ ); BW: 60%

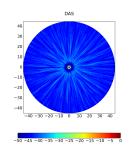


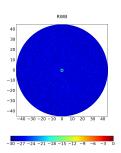


## RWB: Apertura Fermat 64









 $N_e$ : 64; Diametro: 64 $\lambda$  (distribución de Fermat); BW: 60%

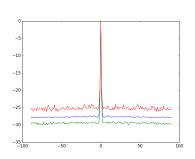
- Lóbulos de rejilla con el 2% de las señales.
- ▶ Umbral con el 5% de señales.



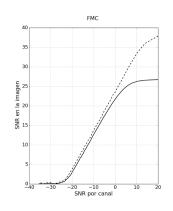


## RWB: Apertura Fermat 64





Respuesta angular a un reflector Fermat 64 (BW = 60%, SNR=20dB)



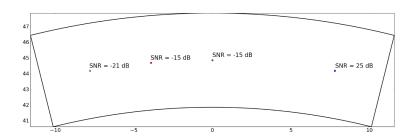
Eliminado el patrón de difracción el rango dinámico queda determinado por la SNR por canal y el número de señales involucradas





## Modelo de simulación





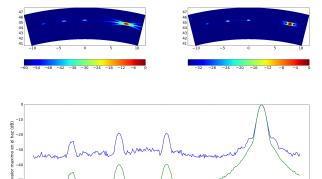
- Cuatro reflectores situados el en arco de mayor interferencia.
- Diferencias entre la reflectividad: 46dB
- $\theta_o = \{-10^o, -5^0, 0^o, 10^o\}$
- $A_o = \{-21dB, -15dB, -15dB, 25dB\}$





## Array matricial $128 \times 128$





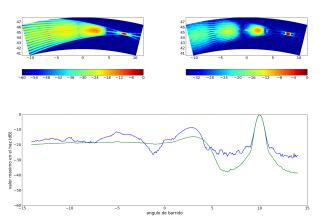
o angulo de barrido

Rango Dinámico: 62dB. N = 16380



## Array matricial $8 \times 8$



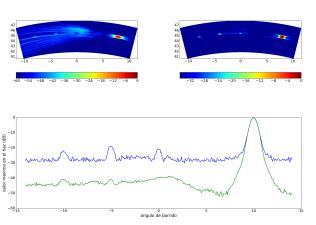


Rango Dinámico: 15dB. N = 64



## Array de Fermat 64





Rango Dinámico: 35dB. N = 64

Se detectan reflectores con una diferencia de 46dB en su reflectividad





### Conclusiones



- El RWB permite reducir el impacto de los lóbulos de rejilla si este es creado por un porventaje de señales inferior a su umbral de detección.
- Es posible diseñar aperturas donde el RWB mejore las prestaciones de la misma.
  - Anula el patrón de difracción de la apertura
  - El rango dinámico queda determinado por el número de señales y la SNR por canal.
- Las aperturas dispersas basadas en la espiral de Fermat mejoran con el RWB.

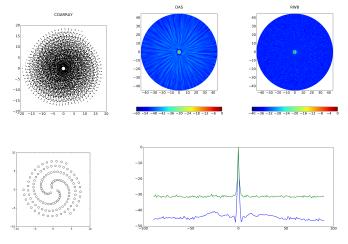
AGRADECIMIENTOS: Proyecto DPI2016-80239-R (AEI/FEDER, UE).





## Array Fermat 128





 $N_e$ : 128; Diametro: 64 $\lambda$  (distribución de Fermat); BW: 60%

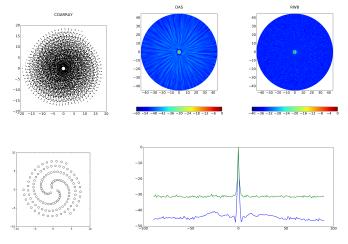
- Lóbulos de rejilla con el 1% de las señales.
- ▶ Umbral con el 3% de señales.





## Array Fermat 128





 $N_e$ : 128; Diametro: 64 $\lambda$  (distribución de Fermat); BW: 60%

- Lóbulos de rejilla con el 1% de las señales.
- ▶ Umbral con el 3% de señales.





# Acknowledgement

This work has been supported by the AEI/FEDER (EU). Project DPI2016-80239-R