

DESARROLLO DE UN CONFORMADOR HÍBRIDO RANDOMWALK PARA LA MEJORA DEL CONTRASTE EN SISTEMAS DE IMAGEN SINTÉTICA

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

Mejora Tecnológica:

- ▶ FPGA: mayor capacidad de integración y elementos específicos de procesamiento DSP.
- ▶ Mejora de las capacidades de procesamiento de paralelismo de los sistemas: GPGPU, Multicore.
- ▶ Mayor nivel de integración: conversores, amplificadores y preamplificadores
- ▶ Desarrollo de electrónica específica para sistemas de imagen ultrasónica: multiplexores, circuitos de excitación, interruptores, etc.

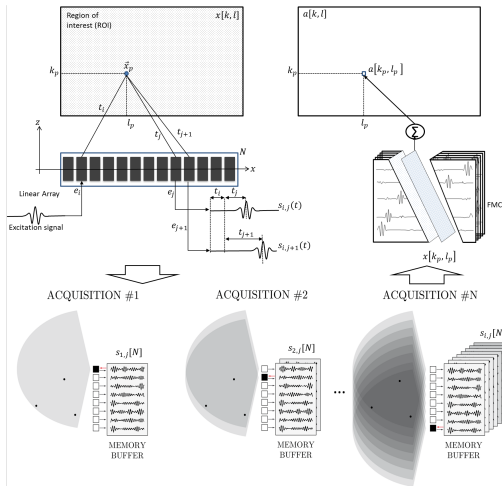
Aumento de las prestaciones generales de los sistemas de imagen ultrasónica: sistemas de arrays.

Nuevas opciones de instrumentación y nuevas metodologías de procesamiento.

- ▶ Desarrollo de sistemas más abiertos y programables.
- ▶ Sistemas que dan acceso a todo el conjunto de señales individuales de la adquisición.
- ▶ Desarrollo de implementaciones de computación paralela para conformación de haz.

Sistemas de Imagen Sintética.

Imagen Sintética: Total Focusing Method

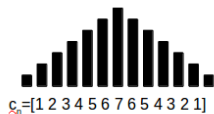


$$\mathbf{A}[k, l] = \{\hat{s}_{i,j}[k, l]\}, \quad i = \{i_1, \dots, i_N\}, \quad j = \{j_1, \dots, j_N\}$$

El coarray Full Matrix Capture.

$$\begin{array}{rcl}
 \begin{array}{c} \blacksquare \square \square \square \square \square \\ \alpha_n^0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \end{array} & * & \begin{array}{c} \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \\ b_n^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \end{array} = \begin{array}{c} \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \square \square \square \square \square \square \\ s_n^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \end{array} \\
 \begin{array}{c} \square \blacksquare \square \square \square \square \\ \alpha_n^1 = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \end{array} & * & \begin{array}{c} \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \\ b_n^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \end{array} = \begin{array}{c} \square \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \square \square \square \square \square \\ s_n^1 = [0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \end{array} \\
 \begin{array}{c} \square \square \blacksquare \square \square \square \square \\ \alpha_n^2 = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \end{array} & * & \begin{array}{c} \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \\ b_n^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \end{array} = \begin{array}{c} \square \square \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \square \square \square \square \square \\ s_n^2 = [0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \end{array} \\
 \vdots & & \vdots \\
 \begin{array}{c} \square \square \square \square \square \blacksquare \\ \alpha_n^6 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] \end{array} & * & \begin{array}{c} \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \\ b_n^6 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \end{array} = \begin{array}{c} \square \square \square \square \square \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \\ s_n^6 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \end{array}
 \end{array}$$

+





Conformador Delay-and-Sum: DAS

index	$i_1,$	i_N	j_1	j_N	N_m
FMC	1	N	1	N	$N \times N$
MRC (2R-SAFT)	1	N	i	$i+1$	$2N - 1$

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

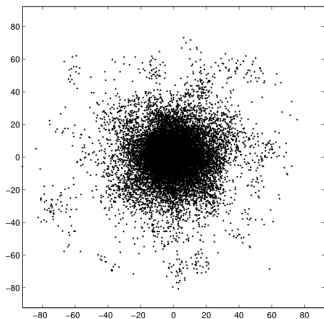
Valor del DAS en un punto $[k, l]$:

$$\begin{aligned}
 DAS[k, l] &= \left| \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} b_{i,j} \hat{s}_{i,j}[k, l] \right| \\
 &= \left| \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} b_{i,j} I_{i,j}[k, l] + i \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} b_{i,j} Q_{i,j}[k, l] \right| \\
 &= \left| \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} b_{i,j} \mathbf{S}_{i,j}[k, l] \sin(\phi_{i,j}[k, l]) + i \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} b_{i,j} \mathbf{S}_{i,j}[k, l] \cos(\phi_{i,j}[k, l]) \right|
 \end{aligned}$$

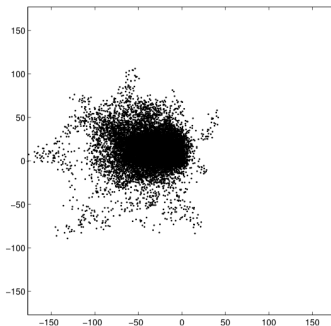
Distribución de las muestras en un punto

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

Ruido



Reflector



Factor de Coherencia de Fase: máscara de contraste

$$FCF[k, l] = 1 - \sqrt{\sigma^2(\sin \phi_{i,j}[k, l]) + \sigma^2(\cos \phi_{i,j}[k, l])} \quad i = \{i_1, \dots, i_N\}, \quad j = \{j_1, \dots, j_N\}$$

$$IMAGEN[k, l] = FCF[k, l] \times DAS[k, l]$$

Fase instantánea: detector de reflectores

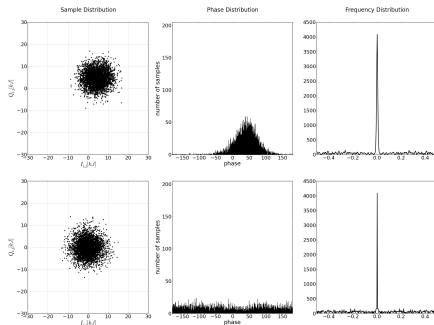
$$FI[k, l] = \left| \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} b_{i,j} \phi_{i,j}[k, l] \right|$$

- ▶ Si $SNR \geq 1$, se detecta la presencia de reflector si:

$$FI[k, l] > \frac{1}{\log N_m}$$

- ▶ Si $SNR \ll 1$, el umbral debe determinarse de forma empírica

Análisis de la distribución de las fases 2



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

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

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

$$c_n[k, l] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P(\phi) e^{-i2\pi \frac{n}{2\pi} \phi} d\phi = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} e^{-in\phi_{i,j}[k, l]}$$

Calculamos el componente de primer orden:

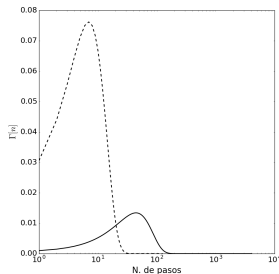
$$\begin{aligned}c_1[k, l] &= \frac{1}{2\pi} \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} e^{-i\phi_{i,j}[k, l]} \\&= \frac{1}{2\pi} \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} \cos(\phi_{i,j}[k, l]) - i \frac{1}{2\pi} \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} \sin(\phi_{i,j}[k, l]) \\&= \frac{1}{2\pi} \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} \frac{I_{i,j}[k, l]}{\mathbf{S}_{i,j}[k, l]} - i \sum_{i=i_1}^{i_N} \sum_{j=j_1}^{j_N} \frac{Q_{i,j}[k, l]}{\mathbf{S}_{i,j}[k, l]}\end{aligned}$$

$$RWB[k, l] = \frac{2\pi}{i_N \times j_N} |c_1[k, l]|$$

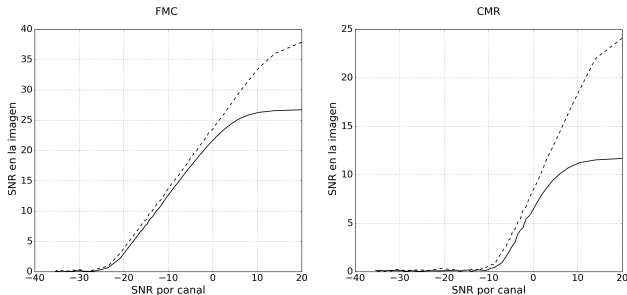
$$RWB[k, l] = \frac{1}{N_m} \left| \sum_{i=1}^{N_m} \frac{I_i[k, l]}{S_i[k, l]} - i \sum_{i=1}^{N_m} \frac{Q_i[k, l]}{S_i[k, l]} \right|$$

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

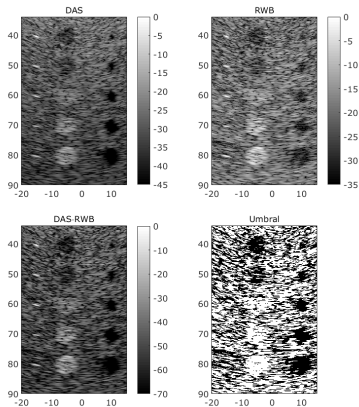
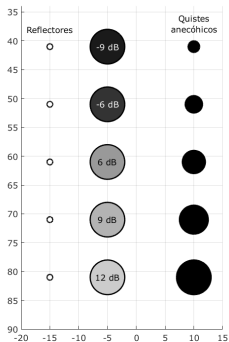
64	N_m	99.99%
CMR	127	42
FMC	4096	238



RWB versus DAS. Relación señal a ruido.

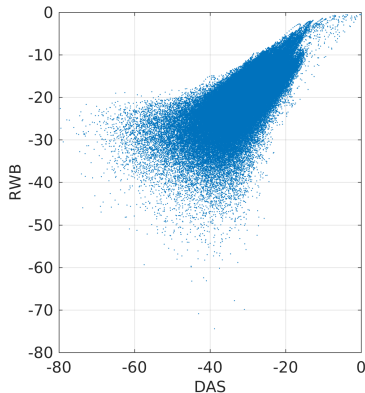


- ▶ Ambos conformadores presentan similares niveles de detección.
- ▶ El SNR en la imagen depende del número de señales involucradas.
- ▶ El RWB tiene un rango acotado
 - ▶ El nivel de ruido en el RWB viene determinado por la probabilidad de detección.
 - ▶ Para SNR altas el RWB satura el resultado.



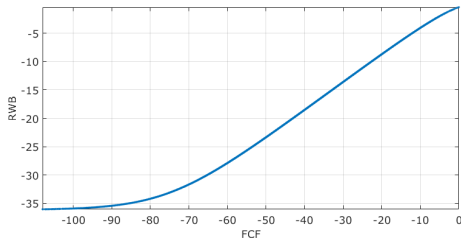
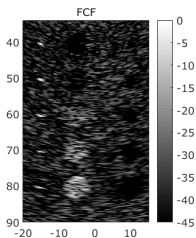
El RWB admite operar tanto como máscara de contraste como estimador de reflectores.

RWB versus DAS.



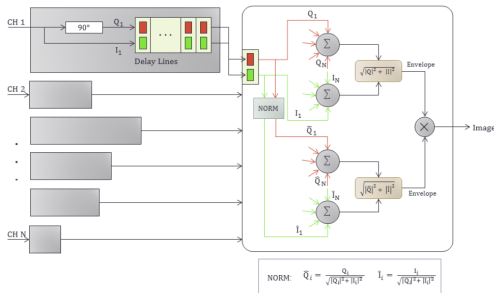
Los valores del RWB por debajo de -25dB no son estadísticamente significativos.

RWB versus FCF. Máscara de contraste



- ▶ Existe una relación cuadrática entre ambas expresiones.
- ▶ Ambas tienen propiedades similares: bajos lobulos secundarios.
- ▶ Ventajas del RWB:
 - ▶ Tiene un modelo bien definido. Fácil de interpretar.
 - ▶ Tiene un cálculo sencillo. Fácil de integrar en el flujo del DAS.
 - ▶ Puede actuar como detector y como filtro de contraste.

Conformador híbrido DAS+RWB



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

Reducir la correlación entre el DAS y el RWB: dividir la adquisición por la redundancia en el coarray

DAS $\mathbf{A}_1[k, l] = \{\hat{s}_{i,j}[k, l]\}, \quad i = \{i_{11}, \dots, i_{1N}\}, \quad j = \{j_{11}, \dots, j_{1N}\}$

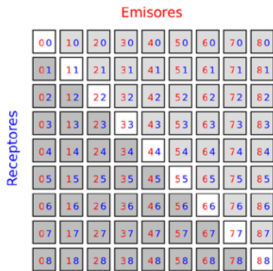
RWB $\mathbf{A}_2[k, l] = \{\hat{s}_{i,j}[k, l]\}, \quad i = \{i_{21}, \dots, i_{2N}\}, \quad j = \{j_{21}, \dots, j_{2N}\}$

RWB: Full Matrix Capture.

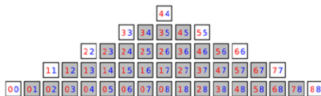
Dividir en Flujo de datos en dos conjuntos redundantes haciendo uso del principio de reciprocidad:

$$s_{i,j}(t) \equiv s_{j,i}(t)$$

Su cumplimiento esta ligado a la linealidad en el medio.



Full Matrix Capture

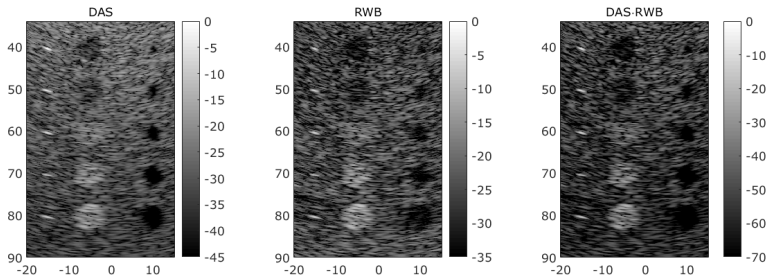


Coarray DAS



Coarray RWB

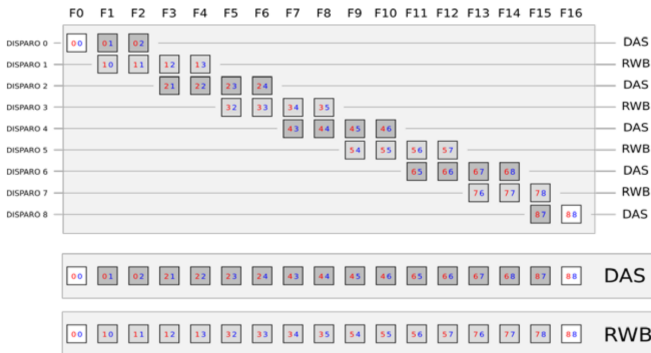
RWB: Full Matrix Capture. Imagen.



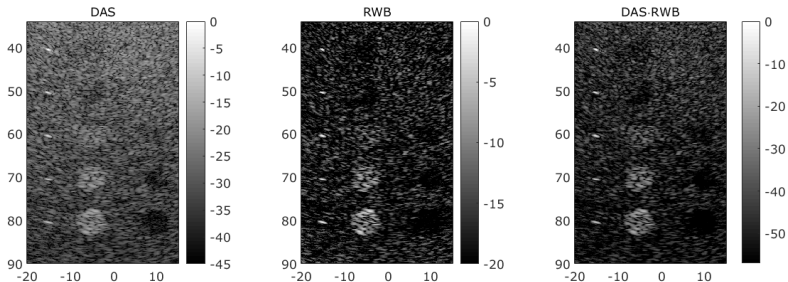
- ▶ Ambas imagenes son similares.
- ▶ Mejora generalizada del rango dinámico en 25dB.

RWB: Coarray de Mínima Redundancia.

Introducir nuevo hardware (4 canales) para generar en paralelo dos CMR dirigiendo cada uno sobre su propio conformador



RWB: Coarray de Mínima Redundancia. Imagen.

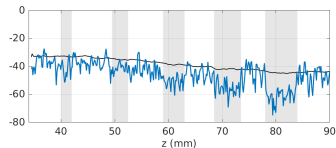
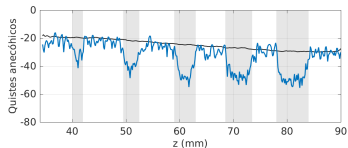
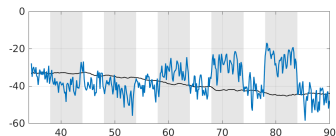
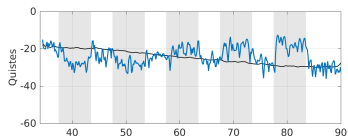
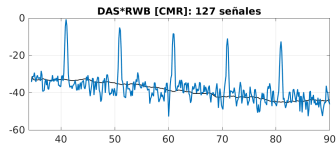
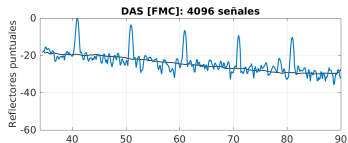


- ▶ Incrementa el rango dinámico de alrededor de 15dB.
- ▶ Mejora la detección de los quistes de menor reflectividad

- ▶ Se ha presentado el RandomWalk Beamformer.
 - ▶ Puede actuar como máscara de contraste: tiene una relación cuadrática con el FCF.
 - ▶ Tiene una fácil interpretación estadística: estimador.
 - ▶ Tiene la misma respuesta frente a la SNR por canal que el DAS.
 - ▶ Tiene una fácil integración dentro de la cadena de procesamiento del DAS: bajo coste en recursos e implementable en tiempo real.
- ▶ Se han estudiado dos tipos de implementación FMC y CMR.
- ▶ Sus prestaciones son dependientes del número de señales.
- ▶ Su uso como máscara de contraste es útil en sistemas de bajos recursos basados en CMR.
- ▶ Se deben desarrollar otros modos de imagen que hagan mejor uso de sus propiedades como estimador

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

Comparativa entre TFM(DAS) y CMR(DAS·RWB).



Acknowledgement

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