

6.

Conclusiones y Líneas Futuras de Investigación

6.1. Conclusiones

A lo largo del presente proyecto se ha realizado un estudio teórico de los diferentes métodos de extracción de señales basados en la descomposición lineal y multilineal de las observaciones. Dicho estudio se ha llevado a la práctica a través de la implementación del algoritmo de separación *ThinICA*, cuya capacidad ha sido puesta a prueba en varios de los escenarios donde la *BSS* tiene cabida.

El camino recorrido parte de un estudio de los mecanismos de descomposición lineal de las fuentes. El Análisis de Componentes Principales (*PCA*), a través de la Descomposición en Valores Singulares (*SVD*), y la Descomposición No Negativa de Matrices (*NMF*) nos ha enseñado cómo mejorar la representación de los datos originales, reduciendo su dimensión mientras se mantiene la mayor cantidad de información.

En algunos casos, los datos obtenidos en las diferentes aplicaciones son de gran magnitud y contienen multitud de variables interrelacionadas que podrían mejorar la comprensión del problema. Pero para descubrir estas estructuras sin la pérdida del sentido físico de las fuentes ha de recurrirse a la representación multidimensional. La Factorización No Negativa de Tensores a través de la descomposición *PARAFAC/CANDECOMP* y la Descomposición de Tucker No Negativa (*NTD*) mejora la interpretabilidad y la visualización de las fuentes mientras hace visibles estas variables ocultas.

Todos estos métodos introducidos son la base sobre la que se sustenta el algoritmo implementado para la resolución del problema de la separación ciega. *ThinICA* se apoya en la maximización de una función contraste formada por cumulantes de alto orden para conseguir la extracción simultánea de las fuentes originales que permanecían ocultas en las observaciones. Dicha función contraste puede ser optimizada de forma cíclica para acelerar el proceso de convergencia a través de la proyección.

Este algoritmo implementado se ha puesto a prueba en escenarios tan diversos como el procesado de señales de audio, imágenes, telecomunicaciones y biomedicina. Durante los experimentos realizados, las observaciones de partida

han sido de muy diferente naturaleza: señales de voz, electrocardiogramas, imágenes naturales y artificiales y señales complejas procedentes de modulaciones digitales. En todos los experimentos los resultados obtenidos han sido satisfactorios. La calidad de la extracción se ha medido a partir de varios índices de prestaciones (*Cross*, P_i , *GAP*, *MLR* y *GlobInd*), así como el ascenso en la función contraste y la función global de transferencia.

El *Performance Index* P_i ha servido para comparar las prestaciones del algoritmo desarrollado con los principales algoritmos de referencia (*JADE*, *AMUSE* y *SOBI*). Tras una batería de simulaciones realizada sobre señales *experimentales* hemos podido observar que la calidad de la separación obtenida por *ThinICA* es superior al resto de algoritmos pero para conseguirla necesita un tiempo de ejecución muy superior.

Como última reflexión podemos concluir que a lo largo de este proyecto hemos completado las tres etapas que engloban el problema de la Separación Ciega de Fuentes: un estudio teórico del problema y sus alternativas de resolución, la implementación de una solución y la comprobación de resultados.

6.2. Líneas Futuras de Investigación

La Separación Ciega de Fuentes constituye un campo de trabajo muy amplio en el que aún quedan muchas áreas abiertas a la investigación. A lo largo de este proyecto hemos resuelto el problema BSS a través del Análisis de Componentes Independientes pero puede ser abordado desde multitud de perspectivas. A continuación se plantean algunas cuestiones abiertas y líneas de investigación que podrían ser objeto de estudio en un futuro:

- ❖ **Mayor número de fuentes que sensores.** Una de las restricciones impuestas a la hora de atacar el problema de la BSS fue la necesidad de utilizar un número de sensores mayor o igual que el número de fuentes. En caso de no cumplirse esta condición el problema quedaría inabordable. Por tanto, un posible avance en este campo podría ser el implementar un algoritmo que consiguiese realizar la separación a partir de un menor número de observaciones que de fuentes.
- ❖ **NMF/NTF.** El método de extracción empleado, aunque con estructuras tensoriales, está basado en una técnica clásica como es *ICA*. Existen otras técnicas más novedosas que pueden emplearse para la solución del problema BSS como son la *Factorización No Negativa de Matrices y Tensores* estudiadas en este proyecto. Así pues, una posible vía de investigación podría ser la implementación de un algoritmo de extracción basado alguno de estos métodos más *modernos*.
- ❖ **Estudio en profundidad de alguno de los campos de aplicación.** En este proyecto se han realizado experimentos sobre varios de los campos de aplicación de la BSS. Estos experimentos han servido para observar la respuesta del algoritmo implementado, pero no se ha realizado un estudio en profundidad en ninguno de ellos. Un posible campo de actuación podría ser el estudio detallado de la respuesta del algoritmo en alguna de las áreas donde el problema BSS tiene cabida:



- ❖ *Procesado de Audio.* Un posible experimento sería el realizar un estudio donde las observaciones se obtuvieran tras un proceso de mezcla no lineal.
- ❖ *Biomedicina.* En este campo de estudio existe un amplio abanico de oportunidades. Las fuentes de estudio pueden ser tan diversas como: electroencefalogramas (*EEG*), magnetoencefalografías (*MEG*), electromiogramas (*EMG*), electrooculogramas (*EOG*), etc.
- ❖ *Procesado de Imágenes.* Una posible vía de estudio en el procesado de imágenes podría ser el *denoising* de imágenes. Se podrían llevar a cabo experimentos donde las imágenes originales estuviesen contaminadas por distintos tipos de ruido: gaussiano, multiplicativo o sal y pimienta. Otra de las posibilidades existentes en el procesado de imágenes sería la clasificación de rostros o texturas.
- ❖ *Telecomunicaciones.* En el campo de las telecomunicaciones podríamos pensar en utilizar el método *ICA* para implementar un sistema *CDMA* (*Code-Division Multiple Access*) aplicado a la telefonía 3G. Otra de las posibilidades de trabajo podría ser la utilización de la *BSS* para la implementación de un sistema *MIMO* (*Multiple In Multiple Out*) aprovechando el multitrayecto en las comunicaciones inalámbricas.
- ❖ *Otras.* Entre otras de las múltiples áreas de trabajo se podría indagar en el análisis de modelos financieros, minería de textos, separación de señales sísmicas o la clasificación de ruido de tráfico.
- ❖ ***Utilización de información previa y restricciones.*** Como hemos comentado a lo largo del proyecto, tanto el conocimiento de información previa como la aplicación de ciertas restricciones puede permitir solucionar el problema de una manera más simple y eficaz. Otra de las posibilidades futuras de actuación podría ser el estudio cómo un sistema mejora ante el uso de esta información *a priori* o donde se aplican ciertas restricciones.

