

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE LA TRANSFORMADA WAVELET PARA LA CLASIFICACION DE SEÑALES DEL DIAGNÓSTICO SCATTERING THOMSON

Farías G.; Santos M.; F. Marron J.L.; Dormido-Canto S.

Dpto. Informática y Automática. UNED

gfarias@bec.uned.es; msantos@dacya.ucm.es; {jlmarron, sebas}@dia.uned.es

Resumen

En el proceso de clasificación de señales existen dos grandes fases a implementar: la primera consiste en realizar un procesamiento de las señales, para extraer las características diferenciadoras atenuando el ruido presente, y la segunda etapa realiza la clasificación de las señales a partir de las características obtenidas. El presente trabajo, situado en un contexto de señales específico, analiza los efectos que tiene la aplicación de la Transformada Wavelet como herramienta de procesamiento de señales en el rendimiento de la clasificación. Además se determinan los parámetros de la Transformada Wavelet que presentan los mejores resultados para el ámbito del problema.

Palabras Clave: Transformada Wavelet, Clasificación, Procesamiento de Señales.

1 INTRODUCCIÓN

Las tareas de clasificación automática, búsqueda de patrones, y extracción de características, son problemas clásicos en la literatura del área de ingeniería de sistemas y automática, presentándose una gran variedad de herramientas y métodos para conseguir los objetivos propuestos.

El problema puede plantearse en dos grandes fases, [3], una correspondiente a la Extracción de Características y la siguiente a la Clasificación.

También es necesaria la ejecución de pruebas de validación del clasificador para evaluar su rendimiento, así como etapas de pre-procesamiento con objeto de normalizar las señales.

La labor de extracción de características de cada tipo de señal no es directa, ya que para enfrentarla con relativo éxito se requiere de conocimiento y experiencia en el ámbito del problema que se quiere abordar. Debido a esto es fundamental utilizar

herramientas adecuadas que, para el tipo de señales que se analizan, proporcionen la información relevante y eliminen (o atenúen) el ruido y la distorsión existente.

El proceso de clasificación posterior se puede abordar utilizando algunas herramientas como Redes Neuronales o Árboles de Decisión, y su éxito dependerá de la correcta elección de los parámetros específicos de cada una de las técnicas.

Las dos etapas anteriormente descritas presentan diversas consideraciones que influirán en el rendimiento final obtenido. Así, utilizar la Transformada de Fourier para señales transitorias no será lo más adecuado, o la utilización de un excesivo número de capas ocultas en una red neuronal puede ocasionar *memorización* de los patrones de aprendizaje [5].

Es importante la experiencia y conocimiento del ámbito del problema sobre el cual se desea realizar una clasificación. En este caso las señales se obtendrán a partir de un sistema de medida de temperatura y densidad electrónica (Scattering Thomson) en el dispositivo de fusión termonuclear TJ-II [1, 8, 10].

El presente trabajo se centrará en la evaluación de la etapa de extracción de características, considerando el efecto producido por la modificación de los parámetros de la Transformada Wavelet (TW) en el rendimiento final del clasificador. La utilidad de la TW en el procesamiento de señales viene dada por la reducción del tamaño, la eliminación del ruido y la extracción de detalles direccionales presentes en la señal, todo ello a un bajo coste computacional.

Para el proceso de clasificación de las señales, una vez aplicada la Transformada Wavelet, se utilizará la técnica de Máquinas de Vectores Soporte (SVM) [4,9]. Evidentemente para deducir conclusiones respecto a la modificación de los parámetros de la TW, las SVM conservarán su estructura durante las pruebas y evaluaciones realizadas.

2 AMBITO DE LA APLICACIÓN

El ámbito del problema sobre el cual se realizaron las pruebas corresponde a la identificación de un conjunto de señales bidimensionales (imágenes) provenientes del Diagnóstico Scattering Thomson (DST) del mencionado dispositivo de fusión TJ-II.

Las señales obtenidas del DST se deben asociar a una de las cinco clases existentes, de las cuales se pueden observar los patrones característicos en la figura 1.

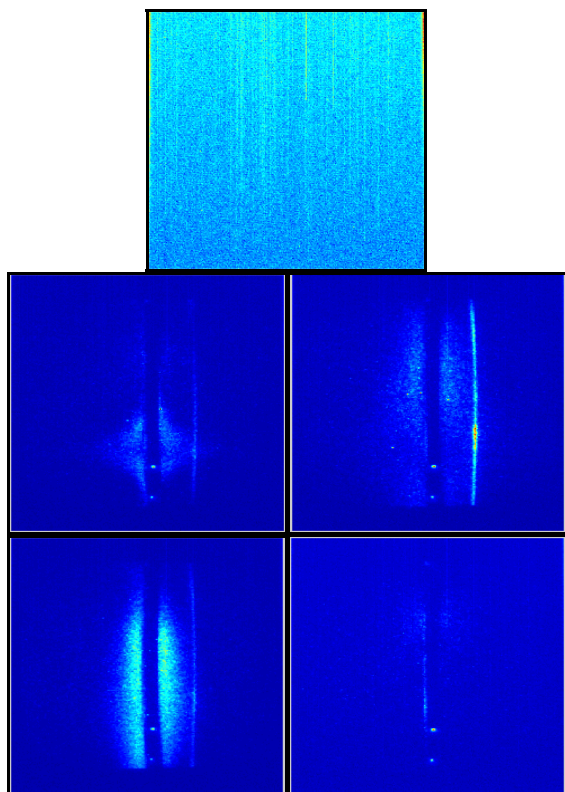


Figura 1: Patrones típicos de las clases (de izquierda a derecha, y de arriba a abajo): BKGND, COFF, ECH, NBI, STRAY.

En la tabla 1 se tiene una breve descripción de cada uno de los patrones del DST.

Patrón	Descripción
BKGND	Fondo de la cámara CCD
COFF	Plasma en corte ECRH
ECH	Plasma con calentamiento ECRH
NBI	Plasma con calentamiento NBI
STRAY	Luz parásita sin plasma

Tabla 1: Descripción de las clases del DST.

Como se observa en la figura 1, todos los patrones, salvo BKGND, corresponden a imágenes con al menos cuatro características importantes: una componente vertical a la izquierda, una

discontinuidad o vacío al centro, otra componente vertical a la derecha, y una línea fina a la derecha. Las diferencias entre un patrón y otro corresponden a la intensidad de los componentes, elevado en el caso de NBI, más tenue en el caso ECH, aunque con la línea fina muy marcada, o bien con las intensidades de las componentes concentradas inferiormente, en el caso COFF, o superiormente, en el caso STRAY.

3 MARCO TEORICO

A continuación se expondrá brevemente la Transformada Wavelet, herramienta utilizada para afrontar las labores de extracción de características. Además se indicará su utilización para el tipo de señales con las que se va a trabajar.

Posteriormente se presentarán aspectos relacionados con la evaluación de los distintos valores de sus parámetros respecto a la eficiencia de la clasificación.

3.1 TRANSFORMADA WAVELET

En muchos casos las señales presentan un comportamiento aproximadamente periódico, oscilando a determinadas frecuencias. Para ellas, un tratamiento con la Transformada de Fourier es una buena opción, pues permitirá obtener de este tipo de señales las principales características diferenciadoras. Sin embargo, existen muchas otras señales que pueden evolucionar de forma aperiódica, por lo que las características diferenciadoras relevantes se obtienen a través de un análisis temporal.

Un análisis mixto de la señal, es decir, a través de la observación en el plano Tiempo-Frecuencia, es por tanto necesario cuando se tienen características tanto periódicas como aperiódicas relevantes.

La Transformada Wavelet [2,6] es utilizada con el fin obtener de las señales un conjunto de características en el plano Tiempo-Frecuencia. En realidad, como muestra la figura 2, la relación es Tiempo-Escala, aunque la escala tiene una relación inversamente proporcional a la frecuencia.

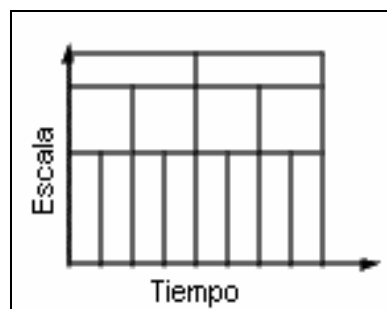


Figura 2: Esquema Tiempo / Frecuencia de la TW.

3.1.1 Procesamiento de la Transformada Wavelet

La Transformada Wavelet consiste en comparar la señal con versiones desplazadas y escaladas de funciones denominadas Wavelet Madre (figura 3).

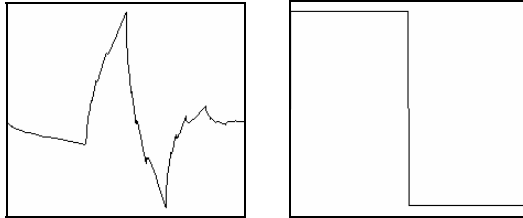


Figura 3: Wavlets Madre DB2 y Haar

La comparación entre la Wavelet Madre y la señal permite obtener coeficientes de correlación entre ésta última y las distintas versiones de la Wavelet Madre. A partir de esos coeficientes es posible reconstruir la señal original utilizando la transformada inversa de Wavelet. La figura 4 ilustra el proceso descrito.

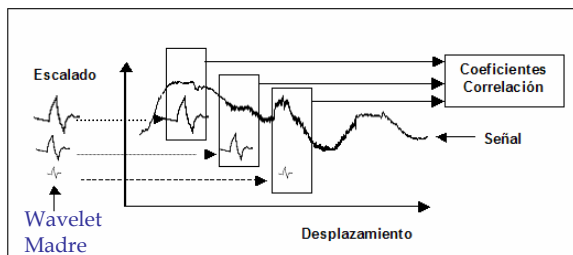


Figura 4: Procesamiento de la Transformada Wavelet

El cálculo de la Transformada Wavelet para todas las posibles escalas (o niveles) supone una gran cantidad de información [6,7]. Seleccionar sólo aquellas escalas y posiciones que resulten interesantes para ciertos estudios es una tarea difícil. Si se escogen aquellas escalas y posiciones basadas en potencias de dos los resultados serán más eficientes. Este análisis se denomina Transformada Wavelet Discreta, DWT.

3.1.2 Aplicación de Transformada Wavelet a Imágenes

La Transformada Wavelet se utiliza también para analizar señales bidimensionales. En este caso la técnica de análisis Wavelet emplea regiones de tamaño variable, es decir, permite utilizar regiones grandes donde se necesita información que precisa poca frecuencia (regiones más o menos homogéneas) y pequeñas regiones donde la información necesita altas frecuencias (regiones vértices, bordes o cambios de color).

Si a una imagen le aplicamos la DWT obtenemos cuatro tipos de coeficientes: Aproximación, Detalles

Horizontales, Detalles Verticales y Detalles Diagonales [7]. La aproximación contiene la mayor parte de la energía de la imagen, es decir, la información más importante, mientras que los detalles tienen valores próximos a cero.

Para ilustrar lo anterior obsérvese la figura 5 cuyo resultado es la aplicación de la DWT, con Wavelet Madre Haar a nivel 4, a la imagen de una señal de clase COFF.

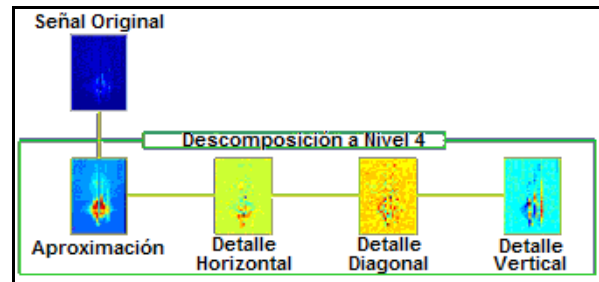


Figura 5: Aplicación de DWT a señal de tipo COFF.

El tipo de Wavelet Madre utilizada juega un papel importante en los resultados finales; su elección, hasta ahora proviene de la experimentación y de su relación con las señales de trabajo. Otros aspectos importantes a considerar son las características de los coeficientes Wavelet y el nivel de descomposición de la Transformada.

En relación con las señales que se estudian en el DST, se puede observar que los coeficientes que mejor caracterizan a las imágenes son los de Aproximación y Detalle Vertical.

3.3 PARÁMETROS DE EVALUCACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN

El éxito de la clasificación va a depender de muchas condiciones. Por ejemplo, en el caso de utilizar SVM, la función Kernel elegida y los parámetros asociados pueden incidir fuertemente en el rendimiento del clasificador. Por otro lado, la utilización de un tipo de Wavelet Madre o el nivel de descomposición escogido pueden afectar positiva o negativamente en la tarea de identificación de los patrones.

En definitiva, existe una serie de parámetros que deben ser ajustados adecuadamente para conseguir resultados satisfactorios. Es necesario por ello evaluar el clasificador de forma que al cambiar un parámetro de la Transformada Wavelet se pueda observar su efecto sobre el rendimiento de éste.

Para evaluar la clasificación se van a considerar los parámetros que a continuación se detallan:

Tiempo de Procesamiento: Periodo de tiempo empleado por el clasificador desde el momento en

que una señal ingresa hasta que la clasificación ha sido realizada. Este tiempo involucra dos tiempos de procesamiento principales: el de la aplicación de la Transformada Wavelet, y el de la evaluación de la función de clasificación. Evidentemente este valor depende fundamentalmente del hardware utilizado.

Tasa de Éxito: Indica el porcentaje de coincidencias entre las predicciones realizadas por el clasificador y la clasificación esperada por un experto.

Potencia de Clasificación: Es la razón entre la Tasa de Éxito y el Tiempo de Procesamiento empleado, es decir, a mayor Tasa de Éxito y en menor tiempo, mayor Potencia del clasificador.

La evaluación final de un clasificador dependerá de la ponderación de los parámetros anteriores, pues en ocasiones se suele sacrificar el Tiempo de Procesamiento a favor de la Tasa de Éxito, mientras que en circunstancias donde la clasificación debe ser en tiempo real, el Tiempo de Procesamiento tendrá prioridad.

4 RESULTADOS

Para mostrar como influyen los parámetros de la Transformada Wavelet se ha desarrollado una aplicación que permite diseñar distintos experimentos, obteniéndose rendimientos para cada una de las modificaciones realizadas.

Los parámetros asociados al clasificador SVM no se han cambiado durante la experimentación.

4.1 PROCESO DE EXPERIMENTACIÓN

El procedimiento de experimentación fue el siguiente:

1. Seleccionar aleatoriamente 20 parejas de conjuntos de entrenamiento y test.
2. Establecer los parámetros asociados a la Transformada Wavelet que se desea evaluar.
3. Para cada pareja de conjuntos evaluar la Tasa de Éxito del clasificador, el Tiempo de Procesamiento y la Potencia de Clasificación.
4. Obtener los valores promedios de los parámetros de evaluación anteriores.
5. Volver al paso 2 para una nueva configuración.

4.2 PARÁMETROS DE LA TW

Experimentando con las señales del DST y observando su forma se decidió modificar y evaluar los siguientes parámetros asociados a la Transformada Wavelet:

Tipo de Wavelet Madre:

Haar: TW con el menor tiempo de cálculo
 DB2: TW que incrementa la complejidad de Haar.
 DB3: TW que incrementa la complejidad de DB2.
 Dmey: TW con el mayor tiempo de cálculo y la menor reducción de la señal.

Coefficientes:

A: Coeficientes de Aproximación del nivel de descomposición.
 DV: Coeficientes de Detalle Vertical del nivel de descomposición.

Nivel:

Niveles 2, 4, 6, 8, u otros intermedios.

Como se mencionó anteriormente, es necesario considerar que la evaluación de los Tiempos de Procesamiento está fuertemente asociada a la capacidad de cálculo del hardware donde se ejecuta la aplicación.

Para los resultados que a continuación se presentan se utilizó un computador con procesador Pentium IV con frecuencia de trabajo de 2.1 Giga Hertz y con 512 MB de RAM.

4.3 TABLAS Y FIGURAS

A continuación se presentan las tablas de datos y las gráficas asociadas de las experiencias realizadas.

4.3.1 Resultados para la TW Haar

En la tabla 2 se puede observar que la mayor Tasa de Éxito corresponde al 89.17%, asociado a la utilización del Detalle Vertical del nivel 4. El menor Tiempo de Procesamiento corresponde a la Aproximación del nivel 4. Además se puede apreciar que la máxima Potencia alcanzada es 188.68, para el Detalle Vertical del nivel 4.

En las figuras 6 y 7, junto a la tabla 2, se puede observar que la Potencia, la Tasa de Éxito y el Tiempo de Procesamiento presentan un óptimo a medida que se modifica el nivel de descomposición hasta llegar a un punto a partir del cual empeoran.

		Haar					
		Aproximación			Detalle Vertical		
		Tiempo	Tasa Éxito	Potencia	Tiempo	Tasa Éxito	Potencia
Nivel	1	1.2466	84.4425	67.73824803	2.4725	61.946	25.05399393
	2	0.58663	84.997	144.8903056	0.80978	76.111	93.9897256
	3	0.48013	86.387	179.9241872	0.51088	86.665	169.6386627
	4	0.47087	86.1095	182.8731922	0.47259	89.1655	188.674115
	5	0.50083	84.443	168.6061139	0.49826	86.942	174.4912295
	6	0.53412	82.4995	154.4587359	0.53046	83.888	158.14199
	8	0.59215	0	0	0.5917	0.278	0.469832685

Tabla 2: Resultados Transformada Wavelet Haar

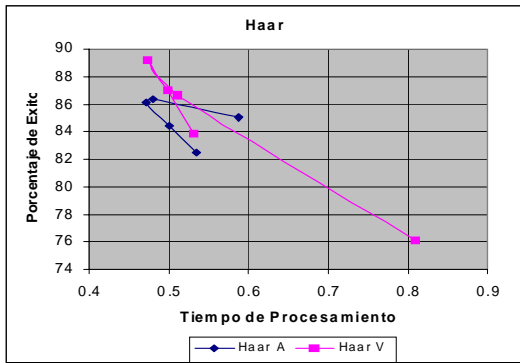


Figura 6: Tiempo de Procesamiento vs. Tasa de Éxito para TW Haar.

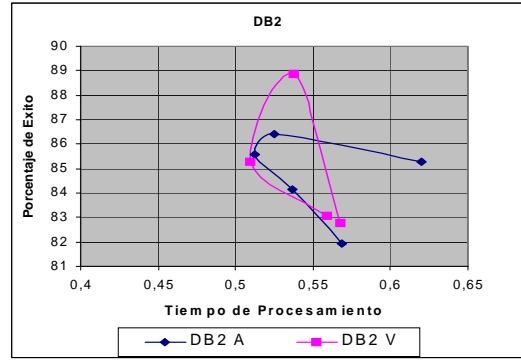


Figura 8: Tiempo de Procesamiento vs. Tasa de Éxito para TW DB2.

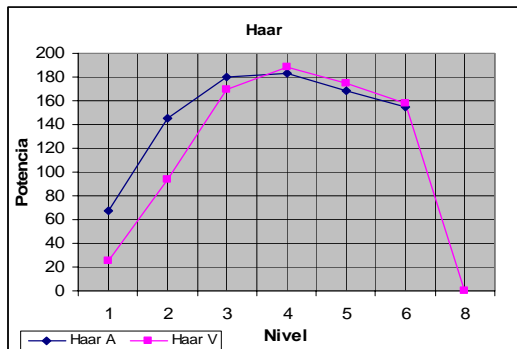


Figura 7: Potencia vs. Nivel para TW Haar

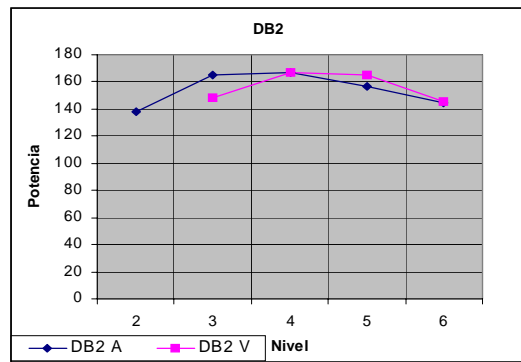


Figura 9: Potencia vs. Nivel para TW DB2.

4.3.2 Resultados para la TW DB2

En la tabla 3 se muestra, cuando se utiliza la TW tipo DB2, que la mayor Tasa de Éxito corresponde al 88.89%, para el Detalle Vertical del nivel 5. El menor Tiempo de Procesamiento corresponde ahora al Detalle Vertical del nivel 4.

Además se puede apreciar que la máxima Potencia alcanzada corresponde a 167.24, asociada al Detalle Vertical del nivel 4.

En las figuras 8 y 9 junto con los datos de la tabla 3 se observa que la Potencia, la Tasa de Éxito y el Tiempo de Procesamiento presentan un óptimo a medida que se modifica el nivel de igual forma que en el caso anterior, pero que decrece a partir de un cierto nivel de descomposición.

DB2						
Nivel	Aproximación			Detalle Vertical		
	Tiempo	Tasa Éxito	Potencia	Tiempo	Tasa Éxito	Potencia
2	0,61987	85,275	137,569168			
3	0,52477	86,387	164,618785	0,55915	83,0545	148,537065
4	0,51252	85,554	166,92812	0,5099	85,2765	167,241616
5	0,53615	84,165	156,980323	0,53763	88,887	165,331176
6	0,56862	81,944	144,110302	0,56724	82,7765	145,928531

Tabla 3: Resultados Transformada Wavelet DB2

4.3.3 Resultados para la TW DB3

En la tabla 4 se tiene, para la TW del tipo DB3, que la mayor Tasa de Éxito corresponde al 87.49%, asociado a la utilización del Detalle Vertical del nivel 4. El menor Tiempo de Procesamiento es de la Aproximación del nivel 4, como en los casos anteriores.

Por otra parte se puede apreciar que la máxima Potencia alcanzada corresponde a 158.75, asociada al Detalle Vertical del nivel 4.

En las figuras 10 y 11 y en la tabla 4 se puede observar que la variación de la Potencia, la Tasa de Éxito y el Tiempo de Procesamiento presentan un óptimo al modificar los niveles de descomposición, hasta alcanzar un nivel óptimo por encima del cual su comportamiento empeora.

DB3						
Nivel	Aproximación			Detalle Vertical		
	Tiempo	Tasa Éxito	Potencia	Tiempo	Tasa Éxito	Potencia
2	0,6846	85,553	124,967864	0,99978	64,724	64,7382424
4	0,55023	86,11	156,498192	0,55116	87,4985	158,753357
5	0,59025	84,7215	143,534943	0,5824	85,276	146,421703
6	0,61139	82,4985	134,935966	0,61201	86,388	141,154556
8	0,67709	47,778	70,563736	0,67291	78,3325	116,408584

Tabla 4: Resultados Transformada Wavelet DB3

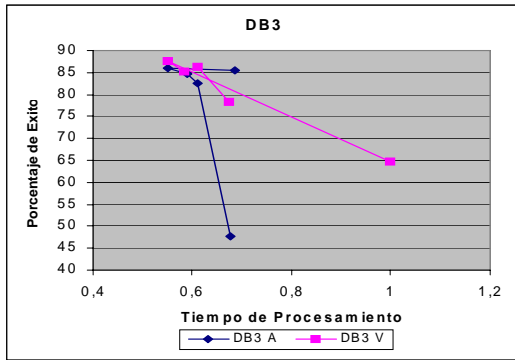


Figura 10: Tiempo de Procesamiento vs. Tasa de Éxito para TW DB3.

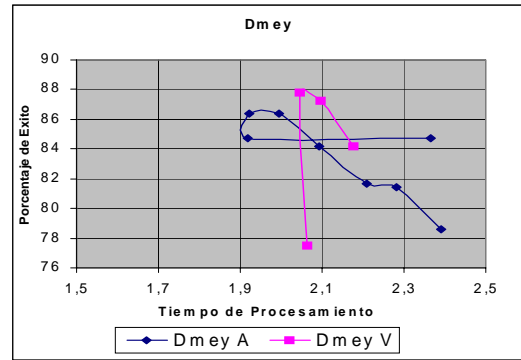


Figura 12: Tiempo de Procesamiento vs. Tasa de Éxito para TW Dmey.

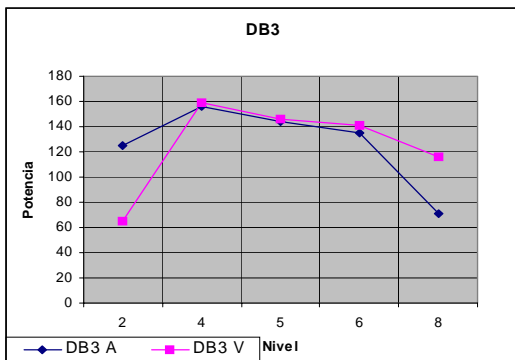


Figura 11: Potencia vs. Nivel para TW DB3.

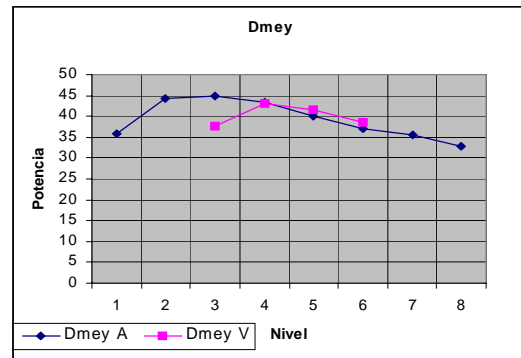


Figura 13: Potencia vs. Nivel para TW Dmey.

4.3.4 Resultados para la TW Dmey

De forma análoga a los casos anteriores, en la tabla 5 se resumen los valores de los parámetros para distintos niveles cuando se utiliza la TW del tipo Dmey. La mayor Tasa de Éxito es ahora del 87.78% (Detalle Vertical, nivel 4). El menor Tiempo de Procesamiento es para la Aproximación del nivel 2, y la máxima Potencia de 44.92 corresponde a la Aproximación de nivel 3. Es necesario un nivel inferior al de los casos anteriores para alcanzar el óptimo.

En las figuras 12 y 13 y en la tabla 5, se observa que la Potencia, la Tasa de Éxito y el Tiempo de Procesamiento varían al modificar el nivel de descomposición hasta alcanzar un máximo por encima del cual empieza a decrecer.

		Dmey					
		Aproximación			Detalle Vertical		
		Tiempo	Tasa Éxito	Potencia	Tiempo	Tasa Éxito	Potencia
Nivel	1	2,3661	84,72	35,8057563			
	2	1,9198	84,7195	44,1293364			
	3	1,9231	86,387	44,920701	2,0649	77,5005	37,532326
	4	1,9946	86,3875	43,3106889	2,0443	87,7765	42,9371912
	5	2,0938	84,165	40,197249	2,0974	87,2215	41,5855345
	6	2,2086	81,666	36,9763651	2,1755	84,1665	38,6883475
	7	2,2834	81,3885	35,6435579			
	8	2,3912	78,6105	32,8749164			

Tabla 5: Resultados Transformada Wavelet Dmey

5 CONCLUSIONES

De todos los resultados anteriores se puede concluir que el nivel de descomposición presenta un óptimo, ya que a medida que éste aumenta se van mejorando los resultados, pero, pasado un nivel, el rendimiento del clasificador comienza a decrecer.

En prácticamente todas las señales el nivel que presenta mayores tasas de éxito corresponde al 4, mientras que en términos de Tiempo de Procesamiento los mejores resultados se encuentran entre los niveles 3 y 4. Las curvas de potencia también presentan máximos en torno al nivel 4.

Respecto a la Wavelet Madre, los mejores resultados los entregó la Wavelet Haar, que es la más sencilla de las analizadas.

La evaluación de los coeficientes respecto de la Tasa de Éxito fue absolutamente mayor en el Detalle Vertical, mientras que el Tiempo de Procesamiento fue en la mayoría de los casos mejor para la Aproximación. En cuanto a la Potencia la mayoría de las veces el mejor resultado estuvo a favor del Detalle Vertical.

Debido a las conclusiones y resultados obtenidos se determina que, para el tipo de señal utilizado, la

Transformada de Wavelet apropiada es la de Haar, a un nivel 4, y con el coeficiente de Detalle Vertical.

Una conclusión importante de los resultados anteriores es la restricción del espacio de búsqueda, ya que el análisis de combinaciones para nuevas Wavelets Madre, por ejemplo, pueden limitarse al coeficiente de Detalle Vertical, y a niveles cercanos a 4, evitando así realizar análisis sobre combinaciones que producirán resultados peores, y que pueden provocar incrementos de tiempos considerables en el proceso de evaluación y búsqueda.

Respecto a la clasificación, el mejor valor obtenido es del 89.16%, bastante satisfactorio considerando que el número de clases es alto (5) y que se tiene una cantidad baja de señales (46), de las cuales sólo el 60%, es decir 28, son utilizadas para entrenar el SVM. Debido a lo anterior es de esperar que cuando se posea una mayor cantidad de muestras se pueda mejorar la Tasa de Éxito.

Finalmente se puede concluir que la forma de la curva de Potencia indica que no necesariamente teniendo toda la información o una mayor cantidad de datos de una señal, es decir, el nivel 1 comparado con el 4, se obtienen mejores resultados. Lo anterior puede deberse a que al aplicar la Transformada se elimina ruido o información espuria que puede confundir al clasificador. Por otro parte, un aumento excesivo del nivel, aunque permite obtener una menor cantidad de datos, no siempre mejora la clasificación, como ocurre cuando se incrementa el nivel más allá del que entrega el máximo de Potencia.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Team TJ-II, del CIEMAT su ayuda y cooperación.

Referencias

- [1] Alejaldre, C., (1999), Plasma Phys. Controlled Fusion 41,1 pp. A539.
- [2] Daubechies, I., (1992), Ten Lectures on Wavelets, SIAM.
- [3] Duda, Richard; Hort, Peter; Stork, David. (2001), Pattern Classification, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication.
- [4] Dormido, S.; De la Cruz, J.M.; Vega, J.; Santos, M.; Dormido Canto, S.; Sánchez, J.; Dormido Canto, R.; Farías, G., (April 19-22, 2004), Análisis de formas de onda de plasmas con Wavelets y Máquinas de Vectores Soporte, 15th Topical

Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics, San Diego, California, USA.

- [5] Hilera, J.R. y Martínez, V.J.(1995), "Redes Neuronales Artificiales. Fundamentos, modelos y aplicaciones". Ed. Ra-ma.
- [6] Mallat, S., (2001), A Wavelet Tour of signal Processing, 2º Edition, Academia Press.
- [7] Misiti, M.; Oppenheim, G.; Poggi, J-M; Misita, Y., (1995-98), The MathWorks, Inc.. Wavelet Toolbox.
- [8] Nakanishi, H. Hochin; T.,Kojima, M. And LABCOM group. (to appear), Search and Retrieval Methods of Similar Plasma Waveforms, Fusion Eng.
- [9] Vapnik, V., (2000), "The Nature of Statistical Learning Theory", 2º Edition, Springer.
- [10] Vega, J., (2004) Estado estacionario, tiempo real y participación remota en el horizonte de los dispositivos de fusión. CISCI 2004.