

## CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS USANDO EL ESQUEMA DE ACTUALIZACIÓN ADAPTATIVO MÁXIMO

### RESUMEN

Se presenta un esquema de caracterización para señales electromiográficas utilizando el adaptive max-lifting scheme (esquema de actualización adaptativo máximo) que permite realizar la transformada wavelet no lineal. Este esquema es ideal para señales con muchas irregularidades pues permite conservar los máximos locales de la señal. Para la selección de características se utiliza el módulo máxima, y se obtienen mejores resultados en la etapa de clasificación con el esquema de actualización máximo que con el esquema tradicional, a través de un clasificador bayesiano.

**PALABRAS CLAVES:** Wavelets adaptativas, esquemas de actualización adaptativos, caracterización, electromiografía.

### ABSTRACT

*We present a scheme for electromyographic signal characterization using adaptive max lifting scheme that allows a non linear wavelet transform. This scheme is ideal for irregular signals preserving their local maximums. For feature selection we use modulus maxima, and classification results with max lifting scheme are better than traditional decomposition results using a bayesian classifier.*

**KEYWORDS:** Adaptive wavelets, adaptive lifting schemes, characterization, electromyography.

### 1. INTRODUCCIÓN

En su forma original, la transformada wavelet es una herramienta lineal. Sin embargo, se han incrementado las investigaciones acerca de extensiones no lineales de esta transformada con el desarrollo de los esquemas de actualización (lifting schemes) propuestos por Sweldens [1]. Además, es posible hacer una aproximación general para la construcción de wavelets no lineales a través de los esquemas de actualización. En tres trabajos recientes [2], [3] y [4] Claypoole y otros utilizaron el esquema de actualización para la construcción de la transformada wavelet no lineal. En [2], proponen un esquema de actualización adaptativo usando un criterio de selección no lineal. En [3] y [4], usan combinaciones de esquemas de actualización lineales y no lineales basadas en el operador de mediana, y discuten aplicaciones en compresión y filtrado.

En este trabajo, presentaremos un ejemplo de estos esquemas no lineales, como es el esquema de actualización máximo (max lifting scheme), el cual tiene la propiedad de preservar máximos locales en señales. En la sección 2 se presentará una breve introducción acerca de los esquemas de actualización. En la sección 3 se mostrará la aplicación de esquemas adaptativos para la construcción del esquema de actualización máximo. Y en la sección 4 se mostrará su aplicación a la caracterización de señales electromiográficas comparando con la transformada wavelet no adaptativa, utilizando como criterio de selección los resultados obtenidos con un clasificador bayesiano.

### ÁLVARO OROZCO

Ingeniero Electricista, Ms.C  
Profesor Titular  
Universidad Tecnológica de Pereira  
aaog@utp.edu.co

### EDUARDO GIRALDO

Estudiante Maestría en Ingeniería Eléctrica  
Profesor  
Universidad Tecnológica de Pereira  
egiraldos@ohm.utp.edu.co

### ENRIQUE GUIJARRO

Profesor Titular  
Universidad Politécnica de Valencia, España.  
eguijarro@eln.upv.es

**Grupo de Investigación en Control e Instrumentación.**

### 2. ESQUEMAS DE ACTUALIZACIÓN

La transformada wavelet discreta representa una señal a partir de dilataciones y translaciones de la función de escalamiento  $\phi(t)$  y la wavelet madre  $\psi(t)$  [5]. Puesto que tanto la función de escalamiento como la wavelet madre se pueden relacionar con filtros, la transformada es implementada típicamente a través de un banco de filtros pasabajo y pasaalto ( $\hat{h}$  y  $\hat{g}$ ). Sin embargo, debido a que se utiliza una etapa de submuestreo por 2, para hacer más eficaz su implementación se tiene en cuenta la representación polifásica como se muestra en la figura 1.

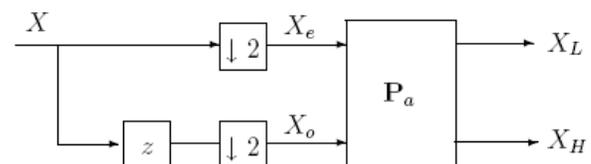


Figura 1. Representación polifásica para la descomposición wavelet.

Esta forma de descomposición divide la señal de entrada  $x$  en dos bandas o fases  $x_e$  y  $x_o$ , que son los componentes pares e impares. Y utiliza una matriz  $P_a$  que contiene una representación polifásica de los filtros pasabajo y pasaaalto.

Los esquemas de actualización son una sencilla

Este trabajo fue desarrollado en el marco del proyecto: "Sistema automatizado efectivo y apropiado para la caracterización y clasificación de señales electromiográficas para el control de prótesis y brazos robóticos", aprobado por Colciencias, radicación 2073.

modificación al par de filtros con reconstrucción perfecta  $\hat{h}$  y  $\hat{g}$ , usados para mejorar las propiedades de la wavelet asociada a los filtros [1]. Se inicia con la transformada polifásica (descomposición de la señal en componentes pares e impares) y se utilizan actualizaciones para construir gradualmente un análisis de resolución variable con propiedades particulares. La actualización sobre los datos pares ( $x_e$ ) se conoce como actualización primaria, mientras que la actualización sobre los datos impares ( $x_o$ ) se conoce como actualización dual. Tanto la actualización primaria ( $U$ ) como la actualización dual ( $P$ ) son operadores que tienen asociados filtros en  $z$ . Más aún, en [6] y [7] se muestra que, cualquier banco de filtros  $\hat{h}$  y  $\hat{g}$ , puede ser construido a partir de etapas de actualización primaria y actualización dual. El esquema general de actualización se presenta en la figura 2.

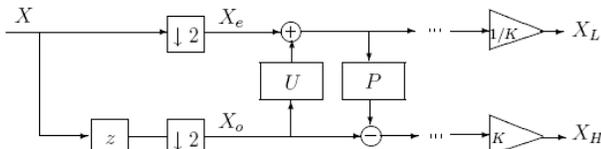


Figura 2. Esquema de actualización general.

En la figura 2, se muestra adicionalmente una constante  $K$  utilizada para normalizar los coeficientes de aproximación  $x_L$  y de detalle  $x_H$ . Para los esquemas de actualización adaptativos se supondrá  $K = 1$ .

### 3. ESQUEMAS DE ACTUALIZACIÓN ADAPTATIVOS

Los esquemas de actualización permiten la construcción de wavelets adaptativas al seleccionar los filtros de actualización primaria  $U$  y los filtros de actualización dual  $P$  de acuerdo a algún criterio de decisión  $D$  el cual dependa de las características locales de la señal [6].

Debido a que los esquemas clásicos de caracterización con la transformada wavelet no mantienen las características como los máximos locales, es necesario proponer esquemas de descomposición que mantengan los máximos locales de la señal [7].

#### 3.1. Esquema de actualización adaptativo máximo

El esquema de actualización máximo (max lifting scheme) tiene la propiedad de preservar máximos locales en señales, y se puede ver dentro del esquema general de actualización como un esquema adaptativo [7].

Para la construcción del esquema de actualización máximo se parte de dos posibles operadores de predicción  $P_0=z^0=1$  y  $P_1=z^{-1}$ . Para la selección del operador se utiliza un operador de decisión  $D_P$  que depende de las muestras pares  $x_e$  y está dado por

$$D_P[n] = \begin{cases} d_n = 0, & x_e[n] \geq x_e[n+1] \\ d_n = 1, & x_e[n] < x_e[n+1] \end{cases}$$

Para todos los elementos pares  $x_e[n]$  y  $x_e[n+1]$  el operador de decisión tiene como salida  $d_n = 0$  o  $d_n = 1$  indicando cuando se utilizan los operadores de decisión  $P_0$  o  $P_1$  para la actualización dual así

$$x_H[n] = x_o[n] - P_{d_n}(x_e[n]).$$

Así como para la actualización dual, también se puede aplicar el esquema adaptativo a la etapa de actualización primaria. Para esto se utiliza un operador de decisión  $D_U$  y varios operadores de actualización  $U_d$ . Se supone que el operador de decisión depende de los coeficientes de detalle  $x_H[n]$  y está dado por

$$D_U(x_H[n]) = \begin{cases} d_n = 0, & \max(x_H[n], x_H[n-1]) \leq 0 \\ d_n = 1, & \max(0, x_H[n-1]) \leq x_H[n] \\ d_n = 2, & \max(0, x_H[n]) \leq x_H[n-1] \end{cases}$$

en combinación con el conjunto de operadores  $U_0 = 0$ ,  $U_1 = z^0 = 1$ , y  $U_2 = z^{-1}$ . Por lo tanto, para la actualización primaria se tiene

$$x_L[n] = x_e[n] + U_{d_n}(x_H[n])$$

Este esquema adaptativo se conoce como esquema de actualización máximo (max-lifting), y se muestra en la figura 3.

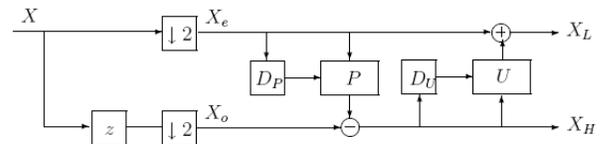


Figura 3. Esquema de actualización máximo.

Este esquema es conocido también como un esquema de actualización no lineal que permite la construcción de la transformada wavelet no lineal. La formulación de este esquema de actualización se puede simplificar al incluir el operador máximo dentro del esquema de actualización dual, así

$$x_H[n] = x_o[n] - \max(x_e[n], x_e[n+1])$$

Y para la actualización primaria, así

$$x_L[n] = x_e[n] + \max(0, x_H[n], x_H[n-1])$$

A partir de estas ecuaciones se puede observar que para la actualización dual  $x_H[n]$  se selecciona el máximo de los dos vecinos en  $x_e$  es decir  $x_e[n]$  y  $x_e[n+1]$ . La etapa de actualización primaria es seleccionada de tal forma que el máximo local de la señal de entrada  $x_e$  se mantiene en la señal escalada  $x_L$ . Aquí, se dice que una señal  $x$  tiene un máximo local en  $n$  si  $x[n] \geq x[n \pm 1]$ .

El esquema de actualización máximo por tanto, se puede considerar como una descomposición wavelet no lineal, pues se construye por medio de dos etapas de actualización no lineales.

Una observación importante es que el esquema de actualización máximo mantiene el número y forma de las regiones con comportamiento estacionario. Esta es una consecuencia directa del hecho que el esquema mantiene los máximos locales y no crea nuevos máximos, por lo que es útil en la caracterización de señales especialmente para el reconocimiento de patrones.

**4. RESULTADOS**

Se presentan a continuación los resultados obtenidos para una señal electromiográfica proveniente del bíceps durante un movimiento de flexión. La figura 4 muestra los resultados obtenidos aplicando el esquema de actualización adaptativo máximo para dos niveles de descomposición.

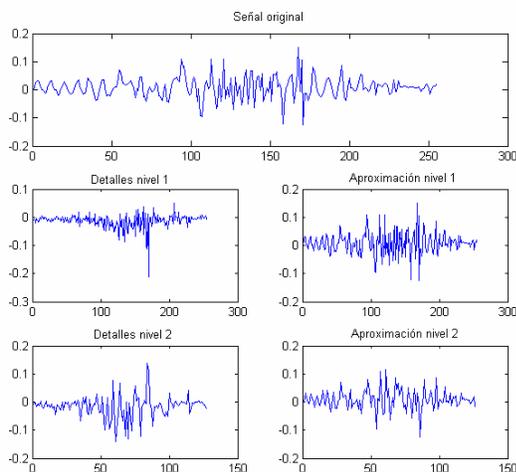


Figura 4. Señal EMG después de una descomposición de dos niveles usando max lifting.

Las características seleccionadas de cada nivel de descomposición son los coeficientes máximos (modulus maxima). Se aplicó la misma metodología para un conjunto de 30 señales EMG para cada uno de los 4 movimientos seleccionados (flexión, extensión, supinación y pronación) con sensores de superficie ubicados únicamente sobre el bíceps. Los resultados de

clasificación usando un clasificador Bayesiano se muestran en la tabla 1.

Los resultados obtenidos al utilizar la misma metodología con la transformada wavelet Haar, se observan en la tabla 2.

	Flexión	Extensión	Supinación	Pronación
Flexión	26	0	4	0
Extensión	0	28	0	2
Supinación	3	0	27	0
Pronación	0	2	1	27

Tabla 1. Resultados de clasificación para las señales EMG usando el esquema de actualización adaptativo máximo.

	Flexión	Extensión	Supinación	Pronación
Flexión	23	0	7	0
Extensión	0	22	3	5
Supinación	1	0	24	5
Pronación	1	2	1	26

Tabla 2. Resultados de clasificación para las señales EMG usando la transformada wavelet haar.

Es importante notar que se mantienen los máximos locales al aplicar el esquema de actualización máximo. Este efecto se observa mejor sobre una señal simulada al aplicar dos niveles de descomposición. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 5.

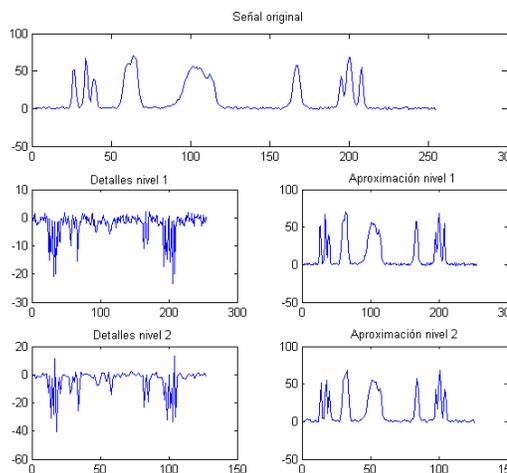


Figura 5. Señal de prueba después de una descomposición de dos niveles usando max lifting scheme.

## 5. CONCLUSIONES

La aplicación de esquemas de actualización adaptativos presenta una mejor alternativa para la caracterización de señales que los esquemas tradicionales, debido a la naturaleza no lineal del análisis de señal propuesto, es posible mantener información geométrica importante tal como máximos locales. Esta propiedad puede ser bastante útil en reconocimiento de patrones, como por ejemplo patrones bioeléctricos.

La implementación de los esquemas de actualización adaptativos puede ser hecha más eficiente que los bancos de filtros convencionales pues utiliza operaciones simples (suma, resta, máximo, etc). Esto permite mejorar la eficiencia computacional.

El tiempo de cálculo para el esquema de actualización máximo ( $t=0.005$  segundos) es menor que el obtenido con la transformada wavelet tradicional ( $t=0.050$  segundos), mostrando sus beneficios para la implementación en sistemas de tiempo real. Debido a su fácil implementación, se ve como una alternativa para microprocesadores y DSP.

De los resultados obtenidos se puede ver el esquema de actualización adaptativo máximo como una opción para el filtrado de señales pues mantiene los máximos locales de la señal, y se puede extender a la caracterización de imágenes.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sweldens, W. "The lifting scheme: A construction of second generation wavelets". SIAM, J Math. Vol. 29, pp. 186-200, 1996.
- [2] Claypoole, R., Davis G., Sweldens, W., Baraniuk, R. "Nonlinear wavelet transforms for image coding," Proceedings 31<sup>st</sup> Asilomar Conf. Signals Systems, Computers, vol. 1, pp. 662-667, 1997.
- [3] Claypoole, R., Baraniuk, R., Nowak, R. "Adaptive wavelet transform via lifting," Proc. IEEE Int. Conf. Acoustic, Speech, Signal Processing, Seattle, WA, 1998.
- [4] Claypoole, R., Baraniuk, R., Nowak, R. "Lifting constructions of nonlinear wavelet transforms", in proc. IEEE, Int Symp. Time Frequency Time Scaling analysis, pp. 49-52, 1998.
- [5] Mallat, S. "A wavelet tour of signal processing", Academic Press - Elsevier, 1999.
- [6] Heijmans, H., Pesquet-Popescu, B., Piella, G. "Building nonredundant adaptive wavelets by update lifting," Applied and Computational Harmonic Analysis, pp. 252-281, 2005.
- [7] Heijmans, H., Goutisias, J. "Nonlinear Multiresolution Signal Decomposition Schemes-Part II: Morphological Wavelets", IEEE Transactions on image processing, vol. 9, no. 11, pp. 1897-1913. November 2000.