

Autenticación de documentos por medio de la extracción de características de las fibras del papel utilizando Wavelets

Rodolfo Ibarra-Orozco¹, Juan Carlos López-Pimentel¹, Miguel González-Mendoza² y Víctor Ramos-Fon Bon¹

¹ Universidad Politécnica de Chiapas, México

{rodolfo.ibarra, jcarlos, vramos}@upchiapas.edu.mx

² Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México
mgonza@itesm.mx

Resumen Este artículo describe una primer propuesta para autenticar un documento físico mediante una metodología para extraer, de una pequeña porción de una hoja de papel, características relevantes de las fibras que la componen. Esta extracción de características se realiza empleando la transformada en wavelets. Se demuestra que los coeficientes de las wavelets son útiles para extraer, después de un preprocesamiento de la imagen, esas características relevantes. Posteriormente, al utilizar un algoritmo de compresión, se logra reducir el número de coeficientes de wavelets sin perder la información importante. Los resultados obtenidos muestran que es factible realizar la autenticación de documentos usando la metodología propuesta, habiendo aún la posibilidad de mejorar cada uno de los pasos.

Palabras clave: wavelets, autenticación de documentos

1. Introduction

La falsificación de documentos físicos es un problema actual de gran repercusión. Esto ha propiciado la creación de propuestas para validar la autenticidad de dichos documentos. No obstante, cada propuesta implica costos muy elevados para su realización. Por ejemplo,[5], sólo para el Estado de México, para la elección de nuevos ediles y diputados locales, se calcula que si el IFE implementa una nueva medida de seguridad en el papel de 22 millones de boletas, se tendría un gasto adicional de 22 millones de pesos.

El escenario descrito ha inspirado el presente proyecto, el cual se centra en el desarrollo de una aplicación que 1) permita validar la veracidad de la información que contiene un documento, al mismo tiempo que 2) indique si el documento que se está cotejando está impreso la hoja en la que se imprimió originalmente. El proceso se realiza mediante un sistema de impresión, es decir, el sistema debe, al momento de ser impreso el documento, también imprimir una marca con información sobre las características del papel.

Se identificaron trabajos similares, entre los que destacan los siguientes: Buchanan y Cowburn, [3], proponen un sistema que mide la textura de una de una página para identificar un documento usando un microscopio de alto poder. El precio de este equipo es prohibitivo para muchos usuarios.

Zhu, [1], identifica "aleatoriedad no repetitiva existente en el proceso de impresión". La desventaja de este proceso es que primero es necesario imprimir el documento para después analizarlo e imprimir después la marca.

Clarkson, [2], propone un sistema que utiliza un escáner para obtener características relevantes de una hoja de papel e insertar esas características en una marca. La extracción de características las realiza mediante algoritmos estadísticos. En nuestro caso ocuparemos algoritmos de análisis de señales en tiempo-frecuencia y algoritmos de inteligencia artificial.

El artículo está organizado como sigue: primero se presenta una introducción, después, una descripción básica de los elementos a utilizar en la metodología. La sección 4 describe la metodología utilizada y la sección 6 los resultados obtenidos y el trabajo futuro.

2. Transformada en Wavelets

La mayoría de las señales de fenómenos del mundo real son no estacionarias. Ejemplos de estas son las señales generadas por electroencefalogramas, electrocardiogramas, voz, sonidos de animales, etc. Estas señales varían con el tiempo su intensidad y su contenido en frecuencia. Así, si se quiere saber en que momento (tiempo) ocurrió una frecuencia, se necesitan otras técnicas para el análisis.

En esta sección, se describen herramientas matemáticas para la descripción de señales no estacionarias. Este tipo de análisis es llamado análisis en tiempo-frecuencia. En particular, describimos el uso de la transformada en Wavelets. Para una referencia más amplia se recomienda consultar [7] y [4].

2.1. La transformada en wavelets continua

Para analizar estructuras de la señal de muy diferentes tamaños, es necesario utilizar átomos en tiempo-frecuencia con diferentes soportes en el tiempo. Una wavelet es una función $\psi \in L^2(\mathbb{R})$ con media cero:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (1)$$

La transformada en wavelets continua (Continuous Wavelet Transform, CWT) se basa en la convolución de una wavelet madre ψ que es dilatada (s) y defasada (τ), (ecuación 2) para tener una aproximación y descomposición de la señal original. La wavelet es desplazada a lo largo de la señal y para cada posición el espectro es calculado. Luego este proceso es repetido muchas veces con una ventana ligeramente más corta o larga en cada nuevo ciclo. Finalmente se obtiene una colección de representaciones tiempo-frecuencia de la señal a diferentes resoluciones o escalas (s), (ecuación 3).

$$\psi_s^\tau(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (2)$$

$$C(s, \tau) = \langle f, \psi_{s,t} \rangle = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (3)$$

Esta transformación es en teoría infinitamente redundante, pero puede ser útil en el reconocimiento de ciertas características de la señal.

2.2. La transformada en wavelets discreta y multiresolución

En una transformada de wavelets discreta, una wavelet es trasladada y dilatada únicamente por valores discretos. Frecuentemente esta dilatación es a una potencia de 2 (llamada diádica). Así, la wavelet es utilizada de la forma:

$$\psi_s^{2^k t + l} \quad (4)$$

donde k y l son números enteros.

Con la teoría de multiresolución, Stéphane Mallat relacionó las wavelets ortogonales con los filtros utilizados en procesamiento de señales. En este método se utiliza una nueva función, la función de escala, la cual produce una serie de imágenes de la señal, cada una diferente por un factor de dos de la señal previa. En una dirección, estas imágenes sucesivas aproximan la señal con cada vez mayor precisión, acercándose a la original. En la otra dirección, se acercan a cero, conteniendo cada vez menor información.

La función de las wavelets en este método es la de obtener la diferencia de información entre dos resoluciones.

A las señales obtenidas al aplicarles la función de escala se les llama aproximaciones y a las obtenidas al aplicarles la wavelet se les llama detalles.

La multiresolución puede aproximar cualquier función sin redundancia y con precisión arbitraria si son cumplidas las siguientes cuatro condiciones:

- La función de escala debe ser ortogonal a sus traslados por enteros.
- La señal, descompuesta a una resolución dada j , contiene toda la información de esa misma señal descompuesta a una resolución menor $j - k$.
- La función 0 es el único objeto común en todos los espacios V_j .
- Cualquier señal puede ser aproximada con una precisión arbitraria.

La multiresolución es descrita primero por los subespacios V_j y W_j . Los espacios de escala V_j . W_j es la diferencia entre V_j y V_{j+1} . La suma de V_j y W_j es V_{j+1} . Cada V_j está contenido en el siguiente subespacio V_{j+1} . Una función en un subespacio está en todos los subespacios más altos (finos).

$$V_0 \subset V_1 \cdots V_j \subset V_{j+1} \subset \quad (5)$$

Una función $f(t)$ en el espacio completo tiene una pieza en cada subespacio. Esas piezas contienen más y más información de la información completa en $f(t)$.

La pieza en V_j es $f_j(t)$. Un requerimiento en la secuencia de subespacios es la completitud:

$$f_j(t) \rightarrow f(t) \text{ as } j \rightarrow \infty \quad (6)$$

Visto desde el punto de vista en que

$$V_j \oplus W_j = V_{j+1} \quad (7)$$

Cada función en V_j es la suma de dos partes ortogonales, f_j en V_j y Δf_i en W_j .

El espacio W_j contiene términos de grado $j+1$. Estos son ortogonales a todos los términos de grado $\leq j$.

$$V_0 \oplus W_0 = V_1 \quad \text{y} \quad V_1 \oplus W_1 = V_2 \quad (8)$$

De donde se tiene que:

$$V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 = V_2 \quad (9)$$

Agregando más detalles se tiene:

$$V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus \dots \oplus W_j = V_{j+1} \quad (10)$$

para las funciones en estos subespacios, esta ecuación es:

$$f_0(t) + \Delta f_0(t) + \Delta f_1(t) + \dots + \Delta f_j(t) = f_{j+1}(t) \quad (11)$$

La construcción de wavelets ha tenido éxito encontrando V_j primero, es decir, la función de escala $\psi(t)$. Las translaciones de esta wavelet $\psi(t-k)$ caen en V_0 . Reescalando por 2^j se obtiene V_j . Entonces los espacios de la wavelet W_j son las diferencias entre V_{j+1} y V_j . Las funciones en W_j son los detalles en la escala j .

De manera similar para los bancos de filtros, primero se diseña el filtro pasa bajas y después se diseña el filtro pasa altas, que son análogos a la función de escala y a la función wavelet, respectivamente.

2.3. Algoritmo EZW

El algoritmo EZW (Embedded Zero-Tree Wavelet), [6] fue presentado en el artículo de Shapiro. La idea principal de la compresión EZW es la explotación de similitudes en diferentes escalas de la transformada en wavelets de una imagen. Este algoritmo es considerado el primer codificador de wavelets realmente eficiente. Su rendimiento se basa en la similitud entre sub-bandas y un esquema de aproximaciones sucesivas. Los coeficientes en diferentes sub-bandas del mismo tipo representan la misma locación espacial, en el sentido que un coeficiente en una escala corresponde con cuatro en un nivel anterior. Esta conexión puede ser utilizada recursivamente con estos cuatro coeficientes y sus correspondientes de los niveles más bajos, de forma que se pueden definir árboles de coeficientes. En las imágenes la mayor parte de la energía tiende a concentrarse en los niveles más altos de descomposición, por lo que se puede esperar que entre un coeficiente se encuentre más cerca al nodo raíz, su magnitud será mayor, así que si un nodo en un árbol de coeficientes es menor a un umbral, es muy probable que sus coeficientes descendientes serán también pequeños.

3. Extracción de características basada en la Transformada Discreta de Wavelets

La Transformada Discreta en Wavelets obtiene tanto la información espacial y frecuencial de una señal. Esta transformada analiza la imagen utilizando un filtrado pasa bajas para obtener características burdas de la señal (aproximaciones) y un filtrado para altas para adquirir las características finas de la señal (detalles). Tal descomposición es realizada recursivamente en los coeficientes de la aproximación obtenidos en cada nivel, hasta que las iteraciones necesarias son alcanzadas. Una imagen es representada como una matriz en escala de grises donde cada elemento de la matriz representa una intensidad en escala de grises de un pixel. Cada pixel que no se encuentra en los bordes de la imagen tiene 8 pixeles adyacentes. Para descomponer una imagen utilizando la TDW se toman en cuenta cuatro direcciones de descomposición correspondientes a 0° (horizontal, Dh), 45° (Diagonal, Dd) y 90° (vertical, Dv).

La descomposición bidimensional con wavelets en J octavas de una imagen discreta representa a la imagen en $3J + 1$ subimágenes.

$$(a_J, \{dh_j, dv_j, dd_j\}_{j=1,J}) \quad (12)$$

donde a_J es una aproximación a baja resolución de la imagen original y dh_j, dv_j, dd_j son los coeficientes que contienen los detalles de la imagen en las tres orientaciones a diferentes escalas 2^j . Los coeficientes de wavelets con una amplitud grande en los detalles corresponden a altas frecuencias verticales (bordes horizontales), altas frecuencias horizontales (bordes verticales) y altas frecuencias en ambas direcciones.

4. Autenticación de documentos utilizando las características de las fibras que componen la hoja de papel

4.1. Metodología

La metodología consiste de dos procesos principales, uno que es la extracción de características de la hoja de papel para el marcado de la hoja y el segundo que es la validación del documento, es decir extraer las características de la hoja de papel y constatar que corresponde a las del marcado realizado en el primer proceso.

Proceso 1. Extracción de características y marcado del papel.

1. Adquisición de la imagen.
2. Aumentar contraste en la imagen.
3. Binarización de la imagen.
4. Detección de bordes.
5. Descomposición de la imagen utilizando la transformada en wavelets.
6. Reducción del número de coeficientes utilizando el algoritmo EZW.

7. Extracción de un vector de características.
8. Marcado del papel.

Proceso 2. Validación.

1. Realizar los primeros 7 pasos del proceso 1.
2. Comparación del vector de características con el contenido en el marcado.

Adquisición de la imagen. Se selecciona aleatoriamente una porción de la imagen. En estas pruebas se tomó la imagen con una cámara digital de 8 megapíxeles. Se espera una mejora significativa del proceso al adquirir la imagen con una cámara especializada. En ese caso se seleccionó una porción de 1 cm X 1 cm. Figura 1

Aumentar contraste en la imagen Para el incremento de contraste se aplica una curva s-shape para cada uno de los canales RGB. Figura 2.

Binarización de la imagen Se selecciona un umbral y la imagen se convierte a imagen en blanco y negro.

Detección de bordes Se aplicó el algoritmo del gradiente para la detección de bordes.

Descomposición de la imagen utilizando la transformada en wavelets Se realizó una descomposición a primer nivel utilizando una wavelet Daubechies 2. Figura 3.

Reducción del número de coeficientes utilizando el algoritmo EZW Se emplea el algoritmo EZW para reducir el número de coeficientes en la transformada en wavelets. Se tiene en promedio, en estas imágenes, una compresión del 60 %. Este paso se realiza pensando en una extracción de un vector de características que mida todos los coeficientes de la imagen. Figura 4.

Extracción de un vector de características Se divide cada una de las tres subimágenes de los detalles de la descomposición en 16 cuadros de igual tamaño y se calcula la desviación estándar de los coeficientes de cada uno estos cuadros.

Marcado del papel El vector de características y la posición de la parte de la hoja analizada se registra en un código QR.

Comparación del vector de características con el contenido en el marcado Para validar si el marcado en el papel corresponde a las características del papel, se analiza la porción de la hoja que indica el marcado y se extraen, utilizando los pasos descritos, el vector de características. Se mide la similitud entre este vector y el contenido en el marcado. La distancia de Hamming es utilizada como métrica.

5. Resultados

Para medir los resultados obtenidos se extrajeron 100 porciones de hojas de papel diferentes. Una vez realizado la extracción del vector de características de cada porción, se mide la similitud de cada vector de características con los del conjunto completo de 100 vectores (aplicando la distancia de Hamming).



Figura 1. Imagen original de la textura de una hoja de papel

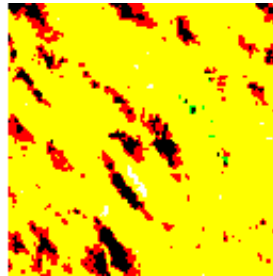


Figura 2. Aumento de contraste en la imagen

Una vez realizadas las comparaciones, se le asigna al vector comparado el vector del conjunto completo que tenga la distancia más corta. En los experimentos realizados, el 85 % de los vectores fueron clasificados correctamente.

6. Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo se describe una metodología utilizada para marcar un documento con las características de la fibra del papel y de esta forma validar que dicho documento sea auténtico. Los experimentos realizados muestran que esta es una forma factible de efectuar dicha autenticación. El trabajo futuro es muy extenso y consiste principalmente, a grandes rasgos, de los siguientes puntos:

- Validar la selección de la wavelet a utilizar.
- Implementar un algoritmo de alineación de la imagen.
- Validar el nivel o niveles de descomposición de la transformada en wavelets que nos permita obtener las características principales de las fibras de la hoja de papel.
- Determinar una distancia que permita establecer de forma precisa si las características obtenidas corresponden a las registradas en la marca.
- Establecer una metodología robusta para la validación de resultados.

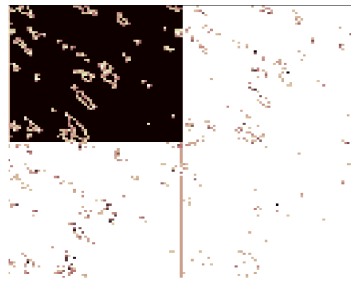


Figura 3. Descomposición de primer nivel de la imagen utilizando db2

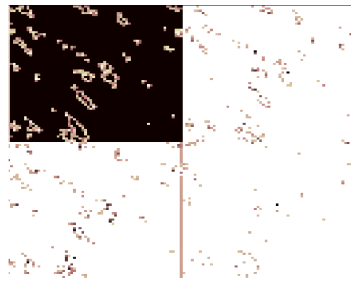


Figura 4. Descomposición de primer nivel de la imagen utilizando db2 y aplicando compresión EZW

Referencias

1. J. Wu B. Zhu and M. S. Kankanhalli. Print signatures for document authentication. *10th ACM Conference on Computer and Communications Security*, 2003.
2. William Clarkson et al. Fingerprinting blank paper using commodity scanners. *IEEE Symposium on Security and Privacy*, 2009.
3. A.-V. Jausovec D. Petit P. Seem G. Xiong D. Atkinson K. Fenton D. A. Allwood J. D. R. Buchanan, R. P. Cowburn and M. T. Bryan. Forgery: ?ngerprinting documents and packaging. *Nature*, 2005.
4. Stéphane Mallat. *A Wavelet Tour of Signal Processing*. Academic Press, 1999.
5. Periódico Milenio. <http://impreso.milenio.com/node/9117434>. 2012.
6. Priyanka Singh and Priti Singh. Design and implementation of ezw and spiht image coder for virtual images. *International Journal of Computer Science and Security (IJCSS)*, 2011.
7. Gilbert Strang and Truong Nguyen. *Wavelets and Filter Banks*. Wellesley-Cambridge Press, Ellesley MA, 1997.