

Representación paramétrica de la transformada de Fourier de tejidos textiles

Implementation of the parametric representation of the Fourier transform in fabrics

L. J. Cárdenas¹, L. E. Cifuentes², Y. Torres³,
J. Escofet⁴ y M. S. Millán⁵

Recepción: 09-may-2007/Modificación: 24-ago-2007/Aceptación: 27-ago-2007
Se aceptan comentarios y/o discusiones al artículo

Resumen

La naturaleza periódica de las imágenes de tejido textil permite el uso de las técnicas de la transformación de Fourier rápida para su clasificación. Debido a los patrones de repetición dentro de las imágenes del tejido textil, es posible encontrar una forma relativamente fácil de descripción para su densidad espectral de energía.

Un trabajo previamente publicado permite mostrar el uso de descriptores para el espectro de Fourier de las imágenes, en particular su eficiencia a la invarianza a la rotación, traslación y cambio de escala [1].

¹ Ingeniera de Sistemas, jcardenas@uis.edu.co, egresada, Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga–Colombia.

² Ingeniera de Sistemas, lcifuentes@uis.edu.co, egresada, Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga–Colombia.

³ Docteur en Optique et Traitement du Signal, ytorres@uis.edu.co, profesor titular, Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga–Colombia.

⁴ Doctor en Física, jescofet@oo.upc.es, profesor titular, Departament d'Òptica i Optometria, Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa–España.

⁵ Doctora en Física, millan@oo.upc.es, profesora titular, Departament d'Òptica i Optometria, Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa–España.

Dichos descriptores mostraron ser muy efectivos para representar un tejido textil y pueden ser utilizados para caracterizar texturas cuasi-periódicas mediante técnicas no destructivas en tiempo real e *in situ*. Muestras de texturas textiles son evaluadas con esta técnica de representación paramétrica con el propósito de analizar su robustez y reproducibilidad. Finalmente, un conjunto de tejidos textiles es sometido a este modelo con el objetivo de evaluar la posibilidad de utilizarlo para la clasificación, verificación y reconocimiento de formas.

Palabras claves: tejido textil, transformación de Fourier, representación paramétrica, texturas.

Abstract

The periodic nature of the fabric images allows using fast Fourier transform techniques in image processing for its characterization. Due to the repetition of patterns inside the images of textile, is possible to find a form relatively easy of description in their energy spectrum.

A recent work outlines a group of geometric descriptors for the Fourier spectrum of the images; looking for this efficiency to rotation, translation and scale change invariance [1].

These descriptors showed to be very effective to represent a textile fabric and can be used to characterize the quasi periodic textures in real time and in situ non destructive techniques. Samples of textile textures are tested to this technique of parametric representation with the purpose of analyzing their robustness and reproducibility. Finally, a set of textile fabrics is subjected to this model with the aim of evaluating the possibilities to carry out classification, verification and pattern recognition.

Key words: fabrics, Fourier transform, parametric representation, textures.

1 Introducción

Un tejido es el género obtenido en forma de lámina más o menos resistente, elástica y flexible, mediante el cruzamiento y enlace de dos series de hilos, una longitudinal y la otra transversal. Hay tejidos [2] que están formados por un solo hilo que se enlaza consigo mismo, como el género de punto por trama, el ganchillo, etcétera. Otros están formados por una serie de hilos, como el

género de punto por urdimbre, algunos encajes, etcétera. Y los hay compuestos de dos o más series de hilos, como ciertos tules. De entre estos últimos el más importante es el tejido corriente o común, que está formado por una serie longitudinal de hilos que se cruza y enlaza perpendicularmente con los de otra serie transversal. La serie longitudinal de hilos recibe el nombre de urdimbre y cada uno de los elementos que la constituyen se denomina hilo. La serie transversal recibe el nombre de trama y cada una de sus unidades se denomina pasada (figura 1). Cuando una imagen contiene estructuras periódicas, como es el caso de las imágenes de tejidos textiles que presentan un alto grado de periodicidad, su Transformada de Fourier (TF), tiene un aspecto característico representado con picos de intensidad correspondientes a las frecuencias espaciales de sus estructuras. Un análisis sencillo de Fourier podrá aportar valiosa información [3, 4]. De esta forma se propone el uso de Descriptores Geométricos para la TF digital, para llevar a cabo la caracterización de diversos tejidos y poder realizar clasificación de muestras independientemente de variaciones de rotación, traslación y cambio de escala.

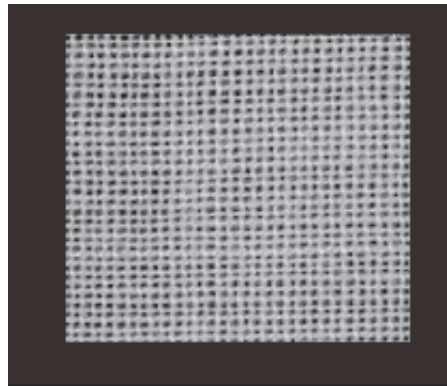


Figura 1: Imagen de tejido plana

2 El sistema de procesamiento de una imagen de tejido textil

Esta técnica efectúa un barrido directo del tejido por medio de una cámara de video obteniendo la imagen del tejido $t(x, y)$. Partiendo del módulo de la

Transformada de Fourier Digital del tejido a caracterizar $T(u, v)$. Las etapas fundamentales del método son:

1. Binarización de la imagen $|T(u, v)|$ para establecer las zonas de vecindades conectadas con los picos máximos. Estableciendo un determinado criterio de agrupamiento.
2. Ubicación de las posiciones de los picos más altos respecto al orden central, uno por cada una de las vecindades y etiquetarlos de forma ascendente.
3. Cálculo del vector característico de acuerdo a

$$V_i(d_i, \alpha_i) \text{ con } i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

donde, d_i es la distancia euclidiana normalizada al punto origen (punto del máximo central o fondo continuo de la imagen $t(x, y)$ y α_i es el ángulo formado por V_i y V_1 . De esta forma d_1 es proporcional al inverso del periodo de la estructura elemental más importante (de mayor contenido frecuencial) y se usa para normalizar las demás distancias. Es decir que el espectro de energía es escalado a esta distancia (la estructura elemental principal se usa como norma). Mientras que los ángulos α_i representan la orientación relativa de las demás estructuras elementales respecto de la estructura elemental principal.

4. Proceder con la clasificación y comparación con los estándares establecidos previamente. Los descriptores geométricos están relacionados con los picos máximos de la Transformada de Fourier (tomando como centro del espacio coordenado, el pico máximo) y están asociados a la estructura pseudoperiódica elemental del tejido. De esta manera permiten llevar a cabo la clasificación de las muestras, independientemente de variaciones de rotación, traslación y cambio de escala.

La figura 2 presenta una fotografía del sistema propuesto para capturar las imágenes a través de un computador con una tarjeta digitalizadora (Matrox PIP-1024BTM) y una cámara CCD que capta las imágenes a caracterizar.

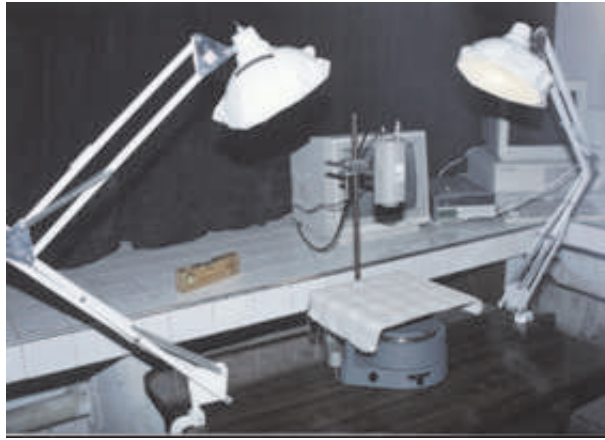


Figura 2: Fotografía del sistema de análisis de imágenes

Sobre el goniómetro se coloca el tejido cuya imagen se desea obtener, éste rotará la tela para lograr diferentes inclinaciones de las líneas de los tejidos. Para lograr un mayor acercamiento y detalle del tejido se utilizó un macro zoom (imágenes a 10, 15 y 20 cm de la tela). Se utilizaron dos programas: uno para captura (PIP-EZTM [5] versión 6 y el interpretador de funciones PIP-EZ PIPINTTM [5]) y otro para el análisis (MatlabTM [6]). El sistema PC-ScopeTM se usó básicamente para el cálculo de los histogramas en tiempo real con el fin de lograr imágenes uniformemente iluminadas. Cada una de las imágenes captadas, luego de un preprocesamiento, es transformada mediante un algoritmo de TF bidimensional en MatlabTM, seguidamente es binarizada, y finalmente etiquetada por grupos de objetos según su vecindad de manera a obtener cada uno de los componentes de los descriptores geométricos.

3 Generación del banco de prueba de tejidos textiles

Utilizando el sistema descrito anteriormente, se procedió a la captura de las imágenes (512×512 pixeles²) que constituirían el banco de prueba de la siguiente forma: se coloca la tela sobre el goniómetro para hacer las respectivas tomas a diferentes ángulos (0° , 30° , 45° , 60° y 90°) para cada una de las diferentes escalas (10, 15 y 20 cm de la superficie). Esto para seis clases de

telas diferentes. Cada imagen tiene un nivel de gris promedio de 128 ± 2 . La dispersión de los niveles de grises se controla con el fin de abarcar la mayor cantidad de niveles posibles. El control de poblaciones bimodales se hace para asegurar una iluminación adecuada ya que su presencia en los histogramas ocasiona que la imagen capturada tenga excesos o insuficiencia de iluminación. Además de estos parámetros se realizó una medida sobre un área de 100×100 pixeles² que representa su nivel de energía (promedio de energía para el banco de imágenes μ y dispersión media $0,0149\mu$).

Con el banco de imágenes digitales obtenido, se diseñaron diferentes funciones y procedimientos en MatlabTM, tales como: lectura de la imagen generada por el PC-ScopeTM; recorte de la imagen a 256×218 pixeles² (aproximadamente un cuarto del tamaño original) para mejorar la velocidad de cálculo (en ese momento cada imagen es vectorizada); corrección geométrica, ya que el pixel de la cámara CCD CohuTM utilizada es rectangular ($11,5 \times 13,5\mu m^2$), se usó interpolación con el método Spline [6] para obtener pixeles cuadrados ($13,5 \times 13,5\mu m^2$). La relación $11,5/13,5$ corresponde al 85% de la longitud horizontal de la imagen, razón por la cual se recortaron las imágenes a 218 pixeles de ancho.

4 Obtención de los descriptores geométricos de un tejido textil

Utilizando las rutinas de centrado y TF bidimensional [6, 7] se obtienen los espectros de Fourier correspondientes a cada imagen de la base (se normaliza el módulo de la TF y se realiza una imagen logaritmo para favorecer la visualización). Luego, se determinan los histogramas para cada imagen espectral, los cuales permiten definir el umbral de binarización [8] (ver la figura 3 para el caso particular del tejido sarga). El vector característico para cada imagen de la base, tiene como componentes los descriptores geométricos, que se determinan a partir de los picos máximos del módulo de la TF y tienen como centro el orden cero (Pico máximo mayor). Estos máximos son los correspondientes centros de cada grupo de frecuencias que componen el tejido textil original.

Para determinar cada uno de los grupos presentes en la imagen binaria se procede a recorrerla pixel por pixel y detectar todos aquellos puntos que tengan conectividad con él (vecindad de orden dos). Este procedimiento se

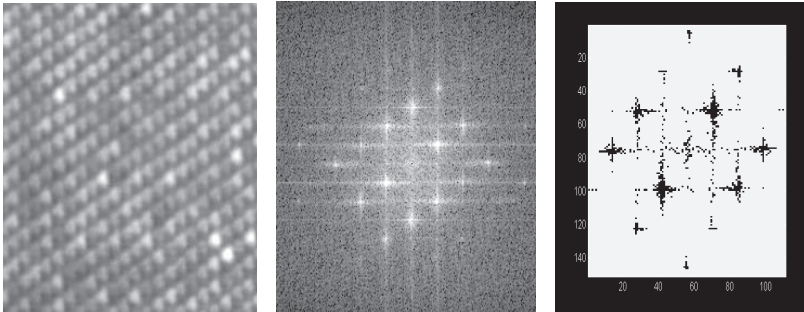


Figura 3: Tejido sarga: original, módulo de su TF y resultado de la binarización

realiza en MatlabTM usando tres funciones, las cuales retornan los puntos de la imagen binaria que conforman el grupo y su correspondiente etiqueta (la figura 4 muestra un ejemplo de la ejecución de este procedimiento). Posteriormente, un segundo procedimiento calcula los centros de masa [8] (el nivel de gris de cada punto del grupo en el módulo de la TF es usado como un valor de ponderación para la determinación del centro de masa del grupo). La posición de cada centro de masa (distancia y ángulo) de cada uno de los grupos etiquetados es retornada por el tercer procedimiento.

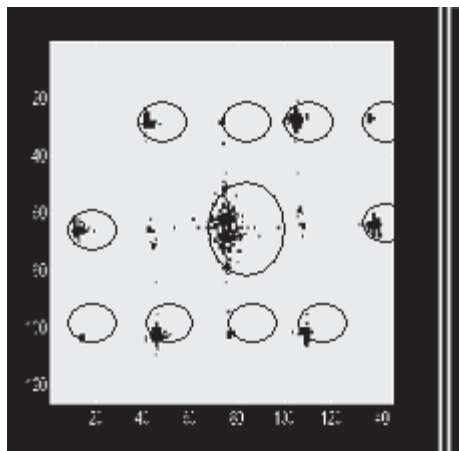


Figura 4: Grupos etiquetados en el módulo de la TF de un tejido textil

Teniendo en cuenta que las frecuencias del módulo de la TF que se pueden catalogar como grupo (tamaño superior a ocho píxeles²; en caso contrario se considera ruido binario en la imagen espectral) son las más importantes, se procede a ordenarlas de mayor a menor.

Para cada una de los tejidos analizados se obtuvieron diez descriptores geométricos ordenados frecuentemente, formando parejas con frecuencias similares y una diferencia de orientación de aproximadamente π radianes [9], este hecho se presenta debido a la simetría de la TF, ya que los tejidos textiles son imágenes reales que presentan estructuras pseudoperiódicas. La diferencia entre las parejas de frecuencias se justifica porque el centro de masa se calculó teniendo en cuenta el nivel de gris real en el módulo del espectro de Fourier e incluye el ruido digital presente. Para el caso del tejido tela toalla, este análisis no fue posible de realizar debido a que la estructura no presenta un alto grado de periodicidad, por lo tanto fue excluido del banco de imágenes. Seguidamente, se escoge uno de cada pareja (representados por la frecuencia y la orientación) tomando el de menor frecuencia y orientación de referencia ($\alpha = 0$ en (1)) como norma.

Estos cinco descriptores geométricos conforman el vector característico para cada uno de los tejidos textiles.

5 Análisis de resultados

Para el banco de tejidos así caracterizados, es posible evaluar la invarianza a la rotación y al cambio de escala del vector característico. Se procede a comparar el mismo tejido rotado y escalado. Un análisis estadístico sencillo permite encontrar las frecuencias y orientaciones promedio y sus desviaciones estándar para cada clase de tejido; se encontró que el error nunca supera el 0,73 % para las frecuencias, ni el 3,05 % para las orientaciones. Tomando estos valores de desviación estándar, se seleccionaron los cinco descriptores geométricos promedio para cada clase con un nivel de confianza del 95 %. Entonces, también es posible evaluar como el vector característico puede permitir identificar la pertenencia de un tejido textil a un tipo de tejido (clasificación).

Para la clasificación se puede someter el banco de imágenes al algoritmo de vecinos más cercanos. La medida de similitud por comparación de vecinos cercanos, permite clasificar una serie de vectores de datos $[X_1, X_2, \dots, X_n]$,

en un espacio de L dimensiones en M clases si se tiene en cuenta la medida de similitud de parejas de puntos [10]. En nuestro caso $n = 45$ vectores característicos (se eliminaron del banco las imágenes a 10 cm debido a que su TF concentra demasiado las frecuencias al centro, así como las imágenes a 15 cm del tejido tipo jackard, por ser demasiado tupido [9]), $L = 8$ dimensiones y sabemos a priori que $M = 5$. Los resultados muestran un error del 4 % cuando se tienen en cuenta un número de vecinos entre cuatro y ocho.

Otro experimento interesante es usar el anterior algoritmo para clasificar cada uno de los tejidos del banco de imágenes cuando se usan a priori los vectores característicos promedio para cada clase. Los resultados muestran que de las 45 imágenes del banco, 39 son bien clasificadas, 2 erróneamente y 4 no clasificadas.

6 Conclusiones

Se demuestra el posible uso de la Transformada de Fourier para caracterizar tejidos textiles que estén conformados por estructuras cuasi periódicas.

La metodología planteada para la clasificación de tejidos textiles, basada en vectores característicos calculados a partir del módulo de su transformada de Fourier muestra excelentes resultados y se presenta como una alternativa para su caracterización [11]. Se implementaron los algoritmos para el procesamiento de imágenes y análisis de la transformada de Fourier en MatlabTM; pero pueden ser perfectamente integrados a una herramienta de clasificación automática sin contacto, de tejidos en la industria textil, eliminando labores tediosas de clasificación y control de calidad en tiempo real.

Esta parametrización de la transformada de Fourier de un tejido textil debe permitir medir el grosor, densidad de hilos y otras características físicas del tejido.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Colciencias y a la DIFE de la Facultad de Ciencias de la Universidad Industrial de Santander por su ayuda financiera.

Referencias

- [1] H. Abril, J. Escofet, Y. Torres, C. Torres, M. S. Millán y J. Pladellorens. *Caracterización de textiles mediante parametrización de su TFR*. Memorias del cuarto Encuentro Nacional de Óptica, Medellín-Colombia, 3–10 (1994). Referenciado en 135, 136
- [2] M. C. Bueno. *Análisis de Fourier Aplicado a la Caracterización de Tejidos Textiles*. Trabajo fin de carrera, Escuela Universitaria de Óptica y Optometría, Universidad Politécnica de Cataluña, Terrassa-España, 1994. Referenciado en 136
- [3] Joseph W. Goodman. *Introduction to Fourier Optics*, Second Edition, ISBN 0-07-024254-2. McGraw-Hill, 1996. Referenciado en 137
- [4] J. Escofet, Y. Torres, C. Torres, M. S. Millán, J. Pladellorens y M. C. Bueno. *Caracterización de Estructuras en Tejidos Textiles mediante procesamiento Óptico y Digital de Imágenes*. Actas de la Cuarta reunión Nacional de Optica, ISBN 84-338-1931-3. Granada-España, 23–24 (1994). Referenciado en 137
- [5] Matrox PIP-EZ. *MS-DOS Software Library for the PIP Video Digitizer, user manual*. Matrox Electronic Systems Limited, Quebec-Canada, 1987. Referenciado en 139
- [6] MathWorks. *Matlab Reference Guide*. USA, Spring 2007. Referenciado en 139, 140
- [7] Lawrence R. Rabiner. *On the Use of symmetry in FFT Computation*. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, ISSN 0096-3518, **ASSP-27**(3), 233–239 (1979). Referenciado en 140
- [8] William K. Pratt. *Digital Image Processing: PIKS Inside*, third edition, ISBN 9780471221326. New York, John Wiley & Sons, 2002. Referenciado en 140, 141
- [9] L. J. Cárdenas y L. E. Cifuentes. *Caracterización de Textiles por medio de la Representación Paramétrica de la Transformada de Fourier*, Proyecto de grado. Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga-Colombia, 1998. Referenciado en 142, 143
- [10] Robert A. Schowengerdt. *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*, ISBN 0126289808. Academic Press Inc., Orlando-Florida-USA, 1983. Referenciado en 143
- [11] María S. Millán and Jaume Escofet. *Fourier domain based angular correlation for quasiperiodic pattern recognition. Applications to web inspection*. Applied Optics, ISSN 1539-4522, **35**(31), 6253–6260 (1996). Referenciado en 143