

Análisis de estructuras periódicas con descripción de Fourier y redes neuronales

*Adalberto Gabriel Díaz**

Departamento de Ingeniería de Producción Universidad Eafit, Medellín,
Colombia.

(Recibido el 24 de mayo de 2006. Aceptado el 29 de octubre de 2006)

Resumen

En este trabajo se desarrolla un proyecto de inspección de entramados textiles, donde la estructura de una textura superficial se manifiesta con un comportamiento sobre la base de un modelo llamado patrón, el cual tiene asociado un conjunto de características que lo definen como tal. El proceso de identificación y clasificación de fallas en la textura, consiste en establecer una región de conformidad en el espacio coordinado definido por el número de características del patrón.

El proceso de reducción de este espacio m -dimensional ayuda a la identificación en un espacio n -dimensional, tal que $m > n$, donde el sistema de clasificación depende realmente de las características del nuevo espacio, las cuales contienen verdaderamente la información necesaria para la clasificación. Las características espaciales permiten identificar el patrón como tal, en el sitio que se explora. Las características frecuenciales corresponden a una reducción del espacio de clasificación, haciéndolo más genérico en el área de cubrimiento de la imagen.

El sistema de clasificación se modela con algoritmos de redes neuronales y la complejidad de las superficies de decisión está solucionada a partir de la arquitectura y la algorítmica de entrenamiento de la red neuronal.

----- *Palabras clave:* reconocimiento de patrones, procesamiento de imágenes, transformada de Fourier, inspección de fallos.

Analysis of periodic structures with Fourier description and neuronal network

Abstract

This work is developed in a project of textile lattices inspection. The structure of a superficial texture is manifested with a behavior on the base of a model known

* Autor de correspondencia: teléfono: +57+4+ 261 93 68. fax: +57+4+ 266 42 84, correo electrónico: gdiaz@eafit.edu.co. (G. Díaz).

as pattern which, is associated with a group of characteristics that define it as such. The identification process and classification of shortcomings in the texture consists on establishing a region of conformity in the coordinated space defined by the pattern's characteristics.

The reduction process of this m-dimensional space, helps to its identification in an n-dimensional space, such that $m > n$, where the classification system actually depends on the characteristics of the new space, where the new characteristics truly contain the classification information. The space characteristics allow for the identification of the pattern as such in the place that is explored. The characteristic frequency corresponds to a reduction of the classification space, making it more generic in the area over the image.

The classification system is modeled with neuronal networks algorithms and the complexity of the surfaces of decision is solved starting from the architecture and the algorithms of training of the neuronal net.

----- *Key words:* pattern recognition, image processing, Fourier transform, shortcomings inspection.

Introducción

En un sistema de adquisición de datos, el volumen de información resulta en muchos casos ambigua, redundante e independiente del proceso de síntesis; tal es el caso de una matriz que describe una imagen digitalizada (mxn píxeles), donde difícilmente se aprecia su contenido. Para observarla se recurre a herramientas de visualización de imágenes, en donde se puede apreciar todo el entorno [1], pero tampoco es de mucho interés conocer el detalle de la información en cada uno de los píxeles, sino más bien es necesario el resumen de características que le incumbe, en tal sentido el objetivo es reducir la dimensionalidad del espacio vectorial de características [2] que definen el objeto de la imagen que al observador le interesa.

Una imagen patrón corresponde a un conjunto de variables que definen una región de clasificación de elementos reconocibles en un espacio m-dimensional y está compuesta por un número menor o igual de n componentes, X_1, X_2, \dots, X_n , las cuales exhiben una estructura indicativa de un conjunto subyacente, donde las componentes X_i corresponden al eje coordenado i, del espacio n-dimensional de características relevantes al sistema de clasificación [2] que las contiene y además el concepto de observación define la clase de pertenencia a las regiones de clasificación. Un vector de características de un patrón será:

$$\overline{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \in \text{a la clase}_i$$

Este trabajo ha sido desarrollado para inspeccionar los patrones de entramados textiles, donde se tiene una estructura periódica generada por la composición de arreglos perpendiculares de hilos entrelazados en la dirección de su recorrido, los

cuales corresponden a la estructura del patrón de un tejido según la ley de ligamento [3]. En el caso de tejidos planos, esta estructura se repite con una distribución uniforme en la dirección tanto de los hilos de la trama como de la urdimbre. Una distribución aleatoria presenta modificaciones haciendo que los píxeles de las situaciones de los hilos se agrupen en aglomerados o parches, restándole uniformidad a la distribución [4], [5]. Una distribución agregada presenta interacciones entre los píxeles vecinos con los demás del medio, por causas probables para la formación y el diseño del patrón.

Las imágenes de diferentes patrones de entramados textiles han sido adquiridas por un sistema de visión apoyado en la técnica del principio de sombras [6], el cual permite obtener la estructura del entrelazado de tejido independiente del acabado o color del tejido.

Visión espacial y frecuencial de fallos

La problemática de reconocimiento y clasificación de patrones que aquí se presenta está relacionada con la cantidad de datos que se tiene disponible. La solución a este problema se plantea con una metodología de síntesis de características de clasificación aplicando la transformada de Fourier y luego se realiza el procedimiento de clasificación por medio de algorítmicas de entrenamiento y reconocimiento por medio de redes neuronales.

El proceso de reconocimiento de patrones de tejido [7] se elabora a partir de un mapa de la distribución de las situaciones de ligamento de los hilos correspondientes a la definición del patrón de tejido, por medio de un análisis de estructuras periódicas.

El estudio de la disposición espacial de un patrón agregado se enfrenta con una metodología donde el proceso de muestreo se da en ocurrencias dentro de cuadrículas que reflejan las distancias de las situaciones de ligamento [8] infiriendo el grado de tolerancia de separación, divergencia y similitud

de las situaciones periódicas a lo largo y ancho del tejido, reflejando la utilización de un método estadístico [9], cuyos conceptos de uniformidad y agregación contienen en sí una alta determinación de la calidad del tejido. Podría asumirse la aplicación de métodos analíticos en los cuales la probabilidad de ocurrencia de la presencia de ciertos valores de los píxeles, necesita de una expresión matemática que ayude a construir un método, para estimar el grado de desviación de este patrón, como por ejemplo, la distribución Poisson que se emplea para modelar eventos aleatorios.

El concepto de inspección de situaciones de valores de píxeles en una imagen, tiene validez bajo dos alternativas técnicas:

Análisis espacial, como el reconocimiento periódico de la distribución espacial de estas situaciones.

Análisis frecuencial, como un reconocimiento de características de periodicidad a partir del espectro de frecuencias que lo componen [10].

La distribución de patrones del tejido en el contexto de situaciones de ligamento observa

las características de periodicidad de una distribución de frecuencias bidimensionales, dentro del área de estudio por medio de los coeficientes frecuenciales obtenidos por la transformada rápida de Fourier en dos dimensiones (FFT2) [11, 12]. De esta manera se consigue una reducción considerable de dimensionalidad espacial de las características representativas de la imagen, destacando genéricamente aspectos de textura, densidad, uniformidad, dirección de los hilos, repetición de patrones, dirección de las franjas patronales, entre otros. Esto teniendo en cuenta que las características de periodicidad son realizadas en el rango que define el patrón.

La evaluación de los parámetros característicos de la textura, están referidos a un patrón de un trozo tejido. Si el tejido en prueba es exactamente igual al tejido patrón, debe poseer elementos de descripción (coeficientes y frecuencias de Fourier) muy similares.

Las componentes frecuenciales altas no tienen importancia en la definición del patrón y por consiguiente pueden ser eliminadas. La expresión de la transformada de Fourier se define:

$$G_s(x, y) = \frac{1}{\Delta x \Delta y} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G\left(f_x - \frac{m}{\Delta x}, f_y - \frac{n}{\Delta y}\right)$$

En este trabajo interesa evaluar la transformada discreta de Fourier (DFT) como un nuevo vector

de características frecuenciales, la cual se evalúa con la siguiente expresión:

$$S[\underline{X}] = S[x, y] = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} s[m, n] \exp\left(-j2\pi\left(\frac{xm}{M} + \frac{yn}{N}\right)\right)$$

$$0 \leq x \leq (M-1), 0 \leq y \leq (N-1)$$

Donde las componentes frecuenciales son:

$$w_x = \frac{2\pi x}{M}, \quad w_y = \frac{2\pi y}{N}$$

Aplicando este procedimiento a un trozo de tejido plano (figura 1), se muestra la detección espacial de patrones de tejido en un trozo bueno (figura 2) y el espectro de Fourier (figura 3).

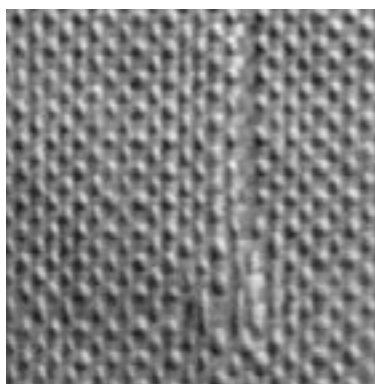


Figura 1 Imagen del tejido con defectos de urdimbre

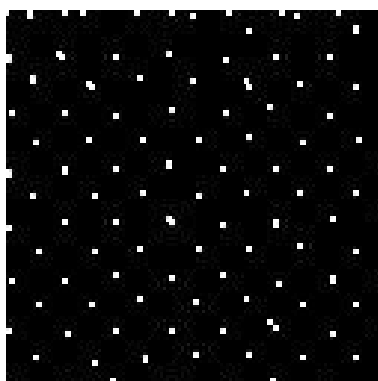


Figura 2 Situaciones reconocidas de los hilos en un sector bueno de la imagen

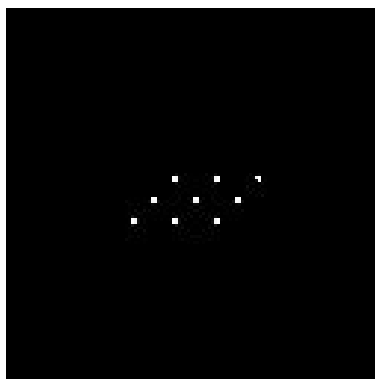


Figura 3 Espectro de Fourier en la zona buena

Similarmente se realiza este análisis para un trozo de tejido defectuoso con una detección

espacial (figura 4) y el análisis frecuencial (figura 5).

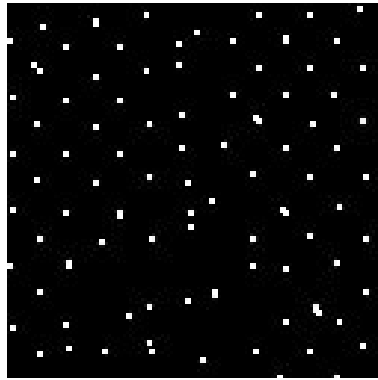


Figura 4 Situaciones reconocidas de los hilos en un sector con defectos

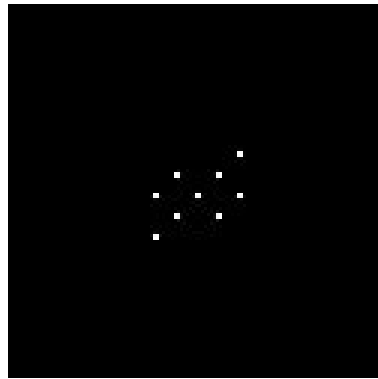


Figura 5 Espectro de Fourier en la zona con defectos

Cada componente frecuencial del espectro de Fourier es un valor complejo, determinado por su magnitud y fase (F_x , F_y , magnitud, fase), datos que son suficientes para establecer las características de periodicidad del tejido, las cuales definirán su identificación en la región de clasificación.

El problema se reduce ahora a clasificar el vector de k elementos de coeficientes de Fourier más relevantes, como un espacio k -dimensional de la región de clasificación por medio de algoritmos de redes neuronales [13]. De otra forma, se trata de definir las fronteras de esta región por criterios de clasificación [2], tal que los coeficientes se puedan asociar a vecindades de las respectivas

clases, que definan los estados de calidad del tejido.

Características de los coeficientes descriptores de Fourier

Los coeficientes descriptores de Fourier [14], que ayudan a la definición de objetos, son invariantes a transformaciones geométricas y tolerantes al ruido, independientemente de su posición, orientación o tamaño, destacando que los primeros descriptores indican la forma general del objeto y los últimos descriptores indican los más pequeños detalles. Un conjunto en un ran-

go pequeño de descriptores puede ser suficiente para caracterizar un patrón. En la figura 6 se han seleccionado unos pocos coeficientes de la DTF,

los cuales son suficientes para describir un trozo bueno y, similarmente, en la figura 7 se describe un trozo defectuoso.

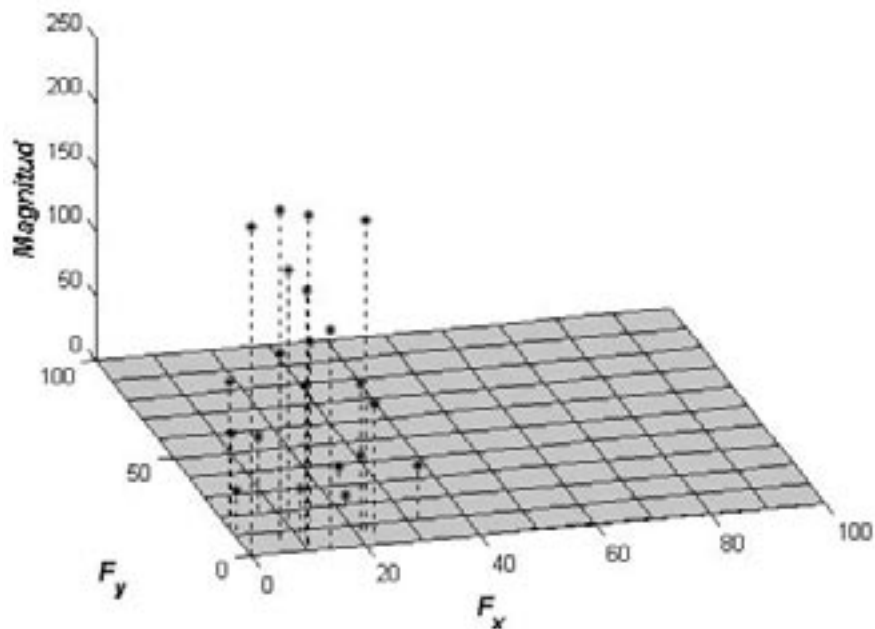


Figura 6 Coeficientes de Fourier en trozo bueno

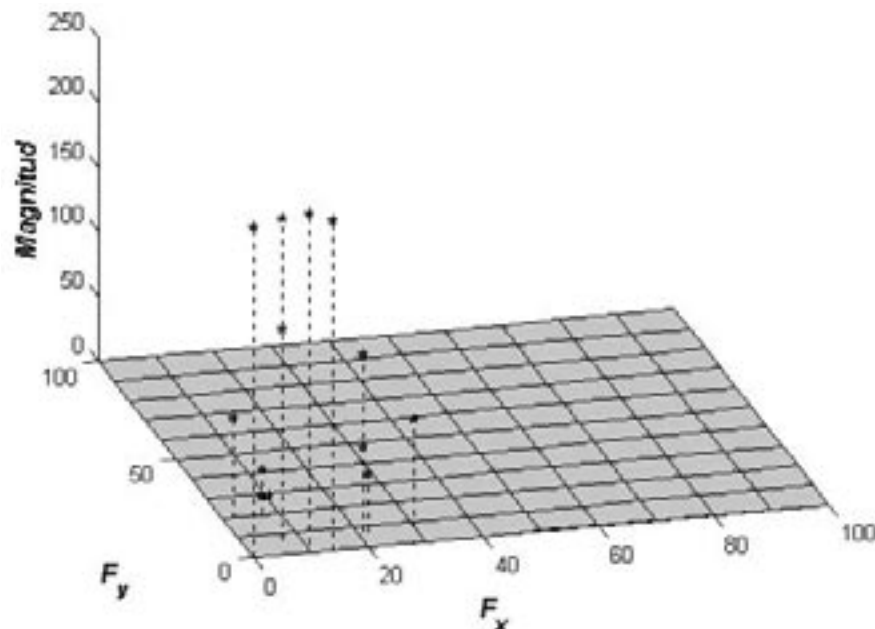


Figura 7 Coeficientes de Fourier en trozo defectuoso de urdimbre rota

Las componentes frecuenciales se alteran en el caso de la variación del tejido, siendo decisivos los umbrales con los valores de las características dentro de la franja de tolerancias respecto al patrón de referencia.

El análisis de clasificación de características de Fourier, está determinado por:

- El número de coeficientes con índices aceptables, que tienen una relación con la estructura del tejido, los cuales son identificados por el nivel de atenuación que presentan estos coeficientes en la matriz de la transformada.
- Al recorrer la imagen con un área de exploración mayor a la definición del patrón de la estructura del tejido y encontrar variaciones apreciables en el número de coeficientes, significará que el patrón de la estructura del tejido se está alterando, indicando la existencia de un posible fallo.
- El espaciamiento de las situaciones de ligamento del tejido se manifiesta en las componentes espectrales de frecuencias. Una variación en el espectro fundamental de frecuencias, referidas a cada patrón, indican las variaciones en la densidad del tejido. Si alrededor de la frecuencia fundamental se presentan otras frecuencias o corrimiento de estas, quiere decir que el tejido no tiene igual densidad en la textura y quizás se aprecie un cambio en el patrón del tejido.
- La dirección de las frecuencias indica la dirección de propagación de un ritmo en la textura sobre el área del tejido. Variaciones en esta dirección indican que el tejido no tiene la misma armonía de distribución.

Clasificación de patrones

El problema de clasificación de patrones consiste en definir una región espacial donde encierra el vector de características. En el caso textil esta superficie no es prescriptiva debido a la variabilidad y tolerancia de regularidad de los patrones, por consiguiente debe ser construida por medio

de algoritmos de aprendizaje asistido por un experto, tales como procesos de entrenamiento de redes neuronales, aplicados a un sistema coordinado de características relevantes, las cuales permiten representar un patrón, como un punto en el espacio [15, 16]. Los prototipos que pertenecen a una misma clase se deben encontrar muy cercanos en su espacio de representación, mientras que los que pertenecen a clases diferentes se encuentran muy distantes separados por superficies discriminantes.

La región de clasificación está delimitada por una familia de superficies S . Cada una, divide el espacio en dos regiones. Se considera que un grupo de N patrones, los cuales pertenecen a una de dos clases Ψ_1 o Ψ_2 , [13], se encuentra separado por la superficie S . Para cada patrón se define un vector de funciones $\{\phi_i(X)\}_{i=1}^{n_1}$, referido al espacio de características [17]. Entonces las clases Ψ_1 y Ψ_2 , son separables si existe un vector W en un espacio n_1 -dimensional, tal que se pueda cumplir:

$$W^T \phi(X) > 0, \quad X \in \Psi_1,$$

$$W^T \phi(X) < 0, \quad X \in \Psi_2.$$

El hiperplano, o superficie discriminante, define la separación en el espacio Φ , por la siguiente ecuación: $W^T \phi(X) = 0$

Regiones de clasificación en el espectro de Fourier

Los coeficientes de Fourier definen las características frecuenciales del prototipo k -ésimo, el cual se puede expresar en forma matricial como componentes de definición de frecuencias, así:

$$f_k = \begin{bmatrix} A_{k1} & \phi_{k1} & f_{x_{k1}} & f_{y_{k1}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{ki} & \phi_{ki} & f_{x_{ki}} & f_{y_{ki}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{kn} & \phi_{kn} & f_{x_{kn}} & f_{y_{kn}} \end{bmatrix}$$

$$\text{donde: } \begin{cases} A_k & \text{amplitud} \\ \phi_k & \text{fase} \\ f_{x_k} & \text{frecuencia en } x \\ f_{y_k} & \text{frecuencia en } y \\ k = 1, 2, \dots, j \end{cases}$$

La validación de estas características en un proceso de clasificación, se encierra en el hiperespacio

de clasificación como se muestra en la figura 8, donde cada componente frecuencial tiene un espacio de clasificación definido por la amplitud de F_x y F_y . El hiperespacio de clasificación resulta entonces de la combinación de todas estas componentes validadas dentro de su subregión. La componente de fase se puede omitir, puesto que su información puede ser despreciable en el contexto de definición de este tipo de patrones.

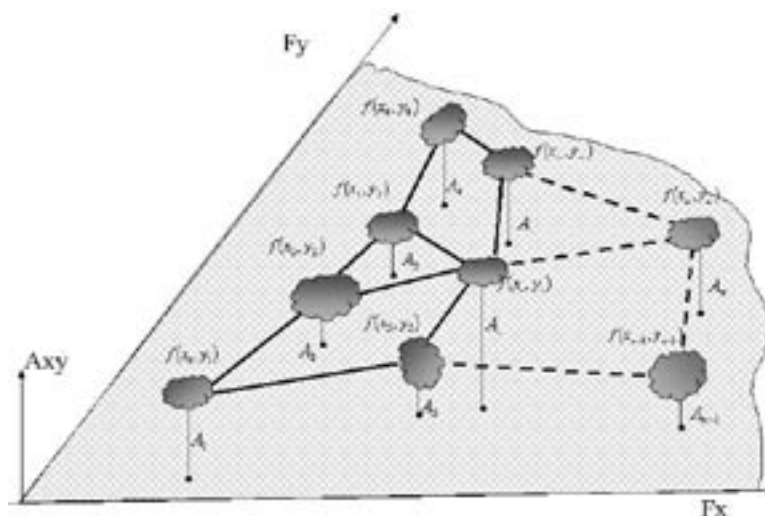


Figura 8 Hiperespacio de clasificación frecuencial

La región de clasificación es conveniente tratarla en forma independiente para cada componente frecuencial, ya que en el criterio de clasificación deben intervenir todas las componentes frecuenciales definidas en el patrón. De esta manera, las superficies de decisión se aproximan en varios niveles embebidos, para lo cual se hace el requerimiento de redes neuronales de varias capas [13] con etapas conectadas en una arquitectura determinada.

Los patrones de una misma clase tienden a agruparse en regiones más pequeñas, lo que permite asociar regiones disjuntas a cada una de las clases existentes, las cuales serán separadas por superficies de decisión, haciendo posible la ayuda a la

clasificación de nuevas observaciones. En este caso, estas regiones son las que clasifican cada trozo del tejido como bueno o defectuoso o en algunas de las subregiones que definen la región de clasificación para cada tipo de fallo.

Un clasificador simple es una función discriminante lineal, definida en el espacio de características R^n , tal que la expresión de clasificación [13] es:

$$g_L(\vec{x}) = \sum_{k=1}^n w_k x_k + w_0 = \vec{w} \cdot \vec{x} + w_0$$

Donde \vec{w} es el vector de pesos y w_0 es el peso umbral.

La región de clasificación se define por la regla de clasificación $\psi_L : R^n \rightarrow \{0,1\}$, tal que permita definir la clase a que pertenece el resultado de un clasificador:

$$\psi_L(\bar{x}) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_L(\bar{x}) < 0 \\ 1 & \text{si } g_L(\bar{x}) > 0 \end{cases}$$

El proceso de aprendizaje permite ajustar el ensanchamiento de la región de clasificación.

Resultados

Este procedimiento se realizó para varios tipos de fallos de tejido codificados en las normas Icontec sobre inspección de superficies tejidas [18]. En las figuras 9-13 se muestran algunos tipos de fallos con una imagen del espectro en zona buena y otra imagen del espectro en una zona con defecto.

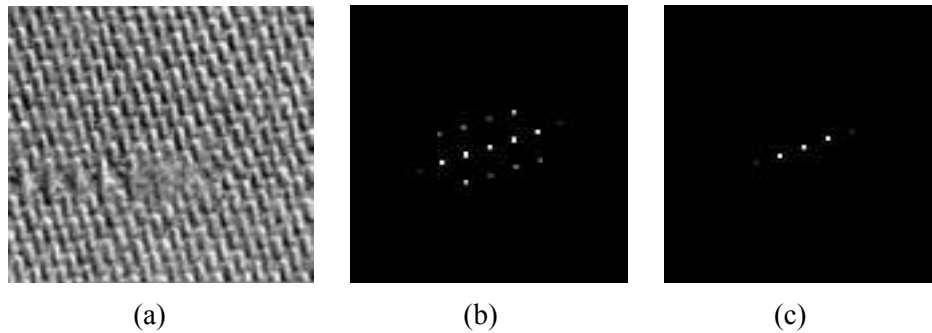


Figura 9 a) Trama Rota b) espectro tramo bueno c) espectro tramo defectuoso

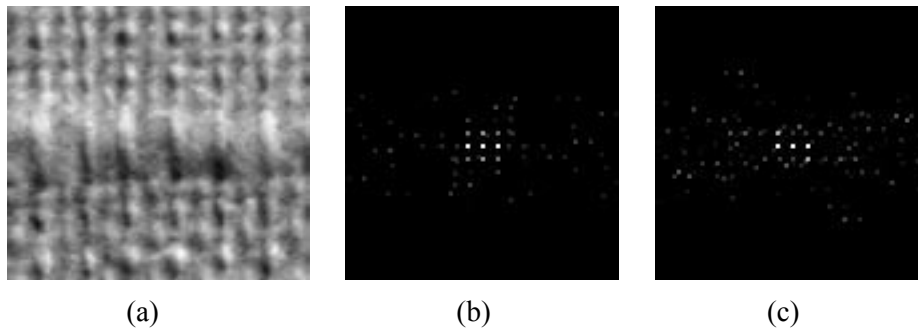


Figura 10 Trama Gruesa b) espectro tramo bueno c) espectro tramo defectuoso

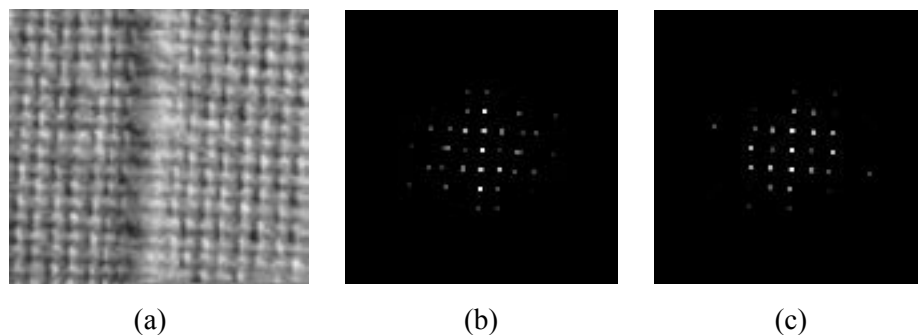


Figura 11 Urdimbre Gruesa. b) espectro tramo bueno c) espectro tramo defectuoso

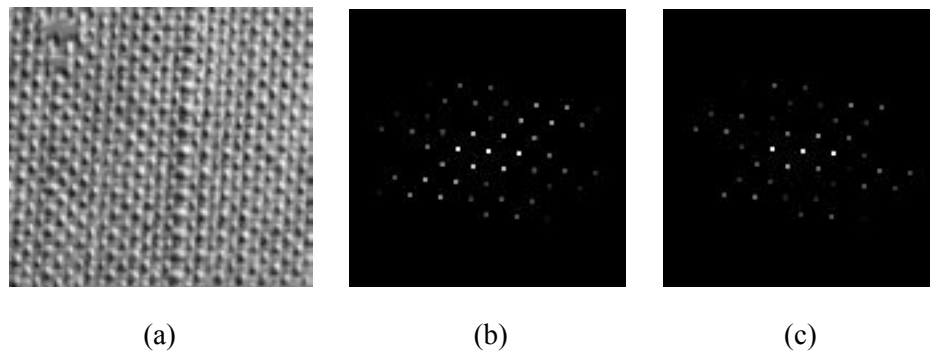


Figura 12 Urdimbre distinta. b) espectro tramo bueno c) espectro tramo defectuoso

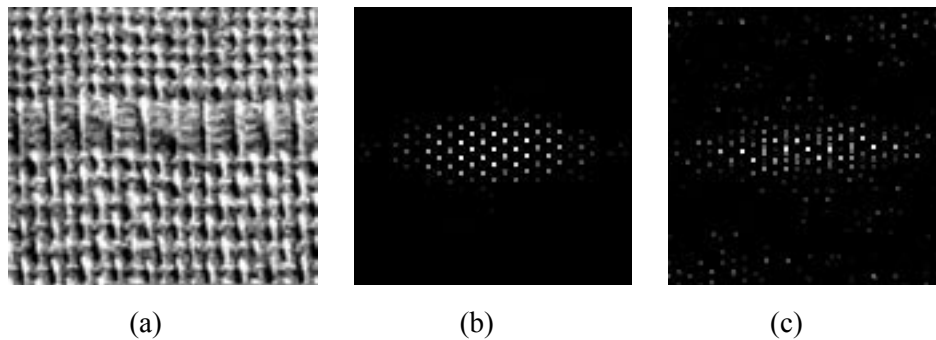


Figura 13 a) Cordones. b) espectro tramo bueno c) espectro tramo defectuoso

Similarmente se hicieron análisis en otros defectos tales como: rotos, bastas, pase malo, raya de peine, sombras, llagas, despistes, trama distinta y crespos.

La red neuronal para clasificación fue diseñada con la arquitectura *back-propagation* y sus resultados dependen del banco de patrones utilizados para el entrenamiento.

Para el modelo se utilizaron patrones de tal manera que sus defectos fueran contundentes a criterio del experto y su validación se realizó en forma manual, puesto que no se tiene en el medio otro sistema de medición de este tipo de textura.

Conclusiones

Uno de los problemas de un sistema de reconocimiento de patrones está determinado por la

dimensionalidad del vector de características, el cual se puede mejorar notablemente por medio de transformaciones que realcen las propiedades relevantes de clasificación y se eliminan aquellas que no tienen influencia decisiva.

En el análisis de patrones de textura de una imagen se reduce el espacio de clasificación por medio de la transformada de Fourier, donde se resaltan las características de periodicidad que son delimitadas por las superficies discriminantes construidas en el entrenamiento de una red neuronal.

El clasificador final de fallos es una superficie no prescriptiva que se construye en el proceso de entrenamiento de la red neuronal a partir de una base de conocimientos. Es decir, a partir de un grupo de patrones prototipo previamente evaluados por un experto, quien da garantía de la clase a la cual pertenece.

Referencias

1. M.S. Millán, J. Escofet, A. Abril, C. Héctor, R. Navarro. "Automatic quality control of textile webs by image processing". *SPIE*. Vol. 3572. 1999. pp. 349-352.
2. F.J. Cortijo. "Introducción al Reconocimiento de formas", 2001; http://www-etsi2.ugr.es/depar/ccia/rf/www/tema1_00-01_www/tema1_00-01_www.html; Consultada en enero de 2006.
3. A.R. Horrocks, S.C. Anand, "Handbook of Technical Textiles". *Woodhead Publishing Ltd*. U.S. 2000. pp. 42-151.
4. A. Baykut, R. Meylani, S. Ozdemir, A. Erçil, A. Ertüzün "A Study on the Texture Analysis Algorithms in the Context of Defect Detection of Textile Products". *Proceedings SIU 97 (5th National Signal Processing and Applications Conference)*. Kuşadası, Turkey (in Turkish). May 1-3 1997. pp. 557-563.
5. D. Chetverikov, "Structural Defects: General Approach and Application to Textile Inspection". *Proc. 15th ICPR*. Barcelona. Vol. 1. 2000. pp. 15-21.
6. G. Díaz Adalberto. "Vision 3-D with Images 2D, by Mediate the Analysis of Shades for the Illumination Angle with the Surface". *Proc. SPIE*, Vol. 4419-242. 2001. pp. 66-69.
7. M. Bishop. *Neural Networks for Pattern Recognition*. Clarendon Press-Oxford. 1995. pp. 1-28.
8. A.G. Díaz. "Reconocimiento de patrones orientados con morfo-varianza en estructura de tejidos". *Revista Universidad EAFIT*. N.º 134. Vol. 40. 2004. pp 38-50.
9. A. Birkan Aras, A.E Aybın Ertüzün ve. "Texture Defect Inspection using Higher Order Statistics". *Proceedings of IEEE SIU'98*. Vol. 2. pp. 542-547.
10. C. Chan, G. Pang. "Fabric defect detection by Fourier analysis". *IEEE transactions on Industry Applications*. Vol. 36. 2000. pp. 1267-1276.
11. J. Escofet, M.S. Millán, M. Rallo. "Specification and identification of woven patterns based on Fourier techniques". *SPIE*. Vol. 4419. 2001. pp. 62-65.
12. A. Oppenheim, R. Schafer. "Discrete-Time Signal Processing". New Jersey Prentice Hall International. 1989. pp. 514-628.
13. S. Haykin. "Neural Networks". New Jersey, Prentice Hall. 2.ª. ed. 1999. pp. 117-143.
14. E. García, V. Batlle, A. Oliver, L. Sánchez. "Descriptores de Fourier para identificación y posicionamiento de objetos en entornos 3D". *XXV Jornadas de automática; ciudad Real, Universidad de Castilla la Mancha*; Sept. 2004. http://www.isa-cr.uclm.es/xxvjornadas/ConfMan_1.7/SUBMISSIONS/140-liezgarthg.pdf; Consultada en noviembre de 2003.
15. S. Özdemir, A. Baykut, R. Meylani, A. Erçil, A. Ertüzün. "Comparative Evaluation of Texture Analysis Algorithms for Defect Inspection of Textile Products". *Proceedings ICPR 98 (International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition)*. Brisbane, Australia. 14-17 de agosto de 1998. pp. 1738-1740.
16. U. Tekstil, S.A. Yapay, Y. ile, K. Kalite. "Surface Quality Control of Textile Products Using Neural Networks". *Proceedings of IEEE SIU'98*. May 1998. Vol. 2. pp. 560-565.
17. Y.A. Karayiannis, R. Stojanovic, P. Mitropoulos, C. Koulamas, T. Stouraitis, S. Koubias, G. Papadopoulos. "Defect detection and classification on web textile fabric using multiresolution decomposition and neural networks". *ICECS'99. Proceedings of ICES'99. 6th IEEE International conference on electronics, Circuits and Systems*. 1999. pp. 765-768.
18. ICONTEC; "Telas definición de defectos"; *Norma Colombiana*, N.º 1046; 1976.