

# SISTEMA DIGITAL DE CORRELACIÓN INVARIANTE APLICADO A LA COMPARACIÓN DE DOS FUENTES DE LETRAS.

## INVARIANT CORRELATION DIGITAL SYSTEM APPLIED TO THE COMPARISON OF TWO FONT LETTERS.

Ángel Coronel-Beltrán<sup>1</sup>, Josué Álvarez-Borrego<sup>2</sup>  
[acorbel@hotmail.com](mailto:acorbel@hotmail.com) / [josue@cicese.mx](mailto:josue@cicese.mx)

Recibido: marzo 20, 2009 / Aceptado: octubre 18, 2009 / Publicado: diciembre 10, 2009

**RESUMEN.** Este artículo presenta un análisis de las letras de tipo fuente Times New Roman y Arial en estilo plano usando un sistema digital de correlación invariante con un filtro no lineal con un factor de no linealidad  $k=0.3$  y un filtro sólo de fase. Los valores de los picos de correlación con estos tipos de filtros están dados por la métrica de desempeño *pico a energía de correlación* (PCE, por sus siglas en inglés). Ambos tipos de letras son de tamaño de 512x512 píxeles y con formato bitmap de 256 colores. Los resultados que presentamos muestran un mejor desempeño para el filtro no lineal que para el filtro sólo de fase. Las letras de fuente Times New Roman mostraron valores más altos en sus picos de correlación comparadas con las de fuente Arial.

**PALABRAS CLAVE:** Correlación invariante, filtro no lineal, filtro sólo de fase.

**ABSTRACT.** This paper presents an analysis of the letters Times New Roman and Arial font types in plain style using an invariant correlation digital system with a nonlinear filter with a nonlinear factor  $k=0.3$  and a phase only filter. The correlation peak values with this kind of filters are given for the *peak-to-correlation energy* (PCE). Both types of letters are of 512x512 in size with a bitmap format file and 256 colors. Our results show a better performance for the nonlinear filter than for the phase only filter. The Times New Roman font letters showed a highest peak correlation values compared with the Arial font letters.

**KEYWORDS:** Invariant correlation, nonlinear filter, phase only filter.

### Introducción

Con la aparición del filtro espacial complejo u holográfico del tipo de Vander Lugt en 1964, también llamado filtro acoplado clásico, empezó un interés por desarrollar nuevos filtros cada vez más eficientes, logrando con ello avances sustanciales en el campo del reconocimiento de patrones ópticos y en los métodos de correlación [1]. Al principio, los esfuerzos por lograr la realización de un dispositivo óptico para la identificación y conteo de objetos, no fueron satisfactorios debido principalmente a que se utilizaba la correlación óptica convencional, la cual tiene el inconveniente de ser muy sensible a pequeños cambios de escala y orientación de los objetos. Para vencer estos obstáculos, a mediados de la década de los 70 se introdujo la transformada de Mellin [2], que tiene la propiedad de ser invariante a los cambios de escala. Los resultados de esas investigaciones confirmaron que es posible correlacionar ópticamente dos funciones u objetos que difieran en escala y rotación. En esa misma época, se realizaron estudios [3] donde se mostró que el sistema visual sensorial tiene la capacidad y habilidad de reconocer formas de objetos, independientemente de los cambios de orientación y tamaño, de manera similar a como se hace la correlación óptica fundamentada en métodos matemáticos analíticos. La imagen en la retina de una escena visual es mapeada sobre la corteza visual del cerebro y descrita por una transformación geométrica del

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería, km 103 Carretera Tijuana-Ensenada, B. C., 22870, México;

<sup>1</sup>Universidad de Sonora, Departamento de Investigación en Física, Calle Rosales y Blvd. Luis Encinas S/N, Apdo. Postal 5-088, Hermosillo, Sonora, 83000, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, División de Física Aplicada, Dept. de Óptica, km 107 Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Fraccionamiento Zona Playitas, Ensenada, B. C., 22860, México

espacio de coordenadas cartesianas al espacio de coordenadas polares con escalamiento logarítmico [4]. Estos trabajos sentaron las bases para el posterior campo de estudio y desarrollo de nuevos sistemas de reconocimiento de patrones, tanto ópticos, digitales e híbridos. En este trabajo aplicamos esta metodología en un sistema digital, las operaciones de mapeo del espacio Cartesiano al polar las realizamos mediante algoritmos computacionales. Se introduce un filtro no lineal para realizar la correlación digital invariante que nos da información de la similitud entre diferentes objetos. Este tipo de filtro tiene ventajas comparado con el filtro acoplado clásico, el filtro solo de fase [5] y otros filtros lineales, debido a su gran capacidad para discriminar objetos, el máximo pico de correlación está bien localizado y el plano de salida es menos ruidoso. Aplicamos este método para el reconocimiento de las letras del alfabeto en fuentes Arial y en Times New Roman, utilizando un filtro no lineal y un filtro sólo de fase.

## Sistema digital de correlación invariante

Esencialmente, en nuestro sistema de correlación digital hacemos uso de filtros no lineal y sólo de fase, así como de la métrica de desempeño pico de correlación energía. El filtro no lineal (NLF) tiene la característica de que su respuesta de salida es una función no lineal de la entrada y este se expresa como [6]

$$NLF = |H(u, v)|^k e^{-j\phi(u, v)}, \quad (1)$$

donde  $|H(u, v)|$  es el valor absoluto de la transformada Fourier del objeto a ser reconocido,  $j = \sqrt{-1}$ ;  $k$  es el factor de no linealidad que toma valores  $0 < k < 1$ ; y  $\phi(u, v)$  es la fase de la transformada de Fourier. Al variar los valores de  $k$  en este intervalo, podemos manipular las capacidades discriminantes del procesador no lineal y determinar el mejor valor  $k$  de los filtros no lineales. Para valores de  $k$  distintos a este intervalo, tenemos los filtros lineales:  $k=1$  (filtro acoplado clásico),  $k=0$  (filtro sólo de fase) y  $k=-1$  (filtro inverso). Así que, el otro filtro que utilizamos en este trabajo, el filtro sólo de fase (POF), tiene la forma

$$POF = e^{-j\phi(u, v)} \quad (2)$$

Para tener una mejor evaluación de los picos de correlación, utilizamos una métrica que nos da información sobre el desempeño de estos filtros, y es conocida como métrica de *pico de correlación energía* (PCE) que está definida como [7]

$$PCE = \frac{|c(0,0)|^2}{\iint |c(x, y)|^2 dx dy}, \quad (3)$$

donde el numerador es el valor de la intensidad del pico de correlación y el denominador es el valor de la energía total en el plano de correlación. Esta métrica es utilizada cuando hay ausencia de ruido en las imágenes, como es nuestro caso.

### La transformada a Escala

La transformada a Escala es un caso especial de la transformada de Mellin, donde esta última está definida como [8]

$$M_f(p) = \int_0^{\infty} f(t)t^{p-1} dt, \quad (4)$$

en la variable compleja  $p = -jc + \beta$ , con el parámetro fijo  $\beta \in \mathbb{R}$  y la variable independiente  $c \in \mathbb{R}$ . Esta familia de transformadas es llamada la transformada  $\beta$ -Mellin. La parte real de la variable compleja  $p$  está

parametrizada, para el caso  $\beta = 1/2$  tenemos la transformada a Escala. Otros valores para  $\beta$  son posibles: para  $\beta = 0$  tenemos la transformada invariante compresión/expansión, y para  $\beta = -1$  tenemos la transformada invariante a la forma. Por lo tanto, la transformada a Escala es una restricción de la transformada de Mellin en la línea vertical  $p = -jc + 1/2$ .

La transformada a Escala es útil porque es insensible a los cambios de escala. Si llamamos  $c$  a la variable de escala, entonces la transformada a Escala y su inversa están dadas por [9]

$$D_f(c) = (2\pi)^{-1/2} \int_0^{\infty} f(t) \exp[(-jc - 1/2) \ln t] dt \quad (5)$$

y

$$f(t) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} D_f(c) \exp[(jc - 1/2) \ln t] dc. \quad (6)$$

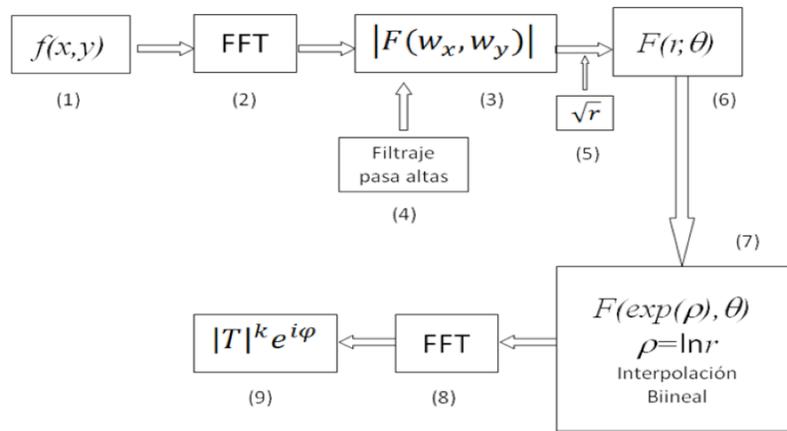
Nosotros usamos la transformada a Escala en 2-D en coordenadas polares  $(r, \theta)$  con el log de la coordenada radial  $\lambda = \ln r$ , la cual está expresada como [10]

$$D(c_\lambda, c_\theta) = (2\pi)^{-1/2} \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} \exp(\lambda/2) f(\lambda, \theta) \exp[-j(\lambda c_\lambda + \theta c_\theta)] d\lambda d\theta, \quad (7)$$

donde se ha utilizado la implementación de la transformada a Escala no-separable para mantener la invariancia a la rotación [11].

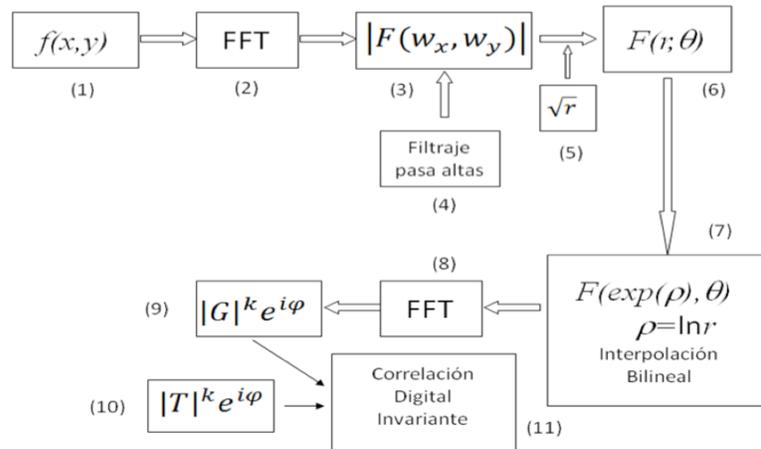
## Método de correlación digital no lineal invariante

Primeramente obtenemos el filtro no lineal como se muestra en la [figura 1](#), desde el paso (1) hasta el paso (9). En el paso (1) tenemos la imagen original, o filtro, denotada por una función bidimensional de la forma  $f(x, y)$ , diferente de cero y finita, en este caso de tamaño de 512x512 pixeles. Luego, en el paso (2), se calcula la Transformada Rápida de Fourier (FFT) del filtro, y de acuerdo al bien conocido *teorema del corrimiento* [12], el cual establece que una traslación del objeto en el dominio espacial introduce un corrimiento de fase lineal en el dominio de frecuencias, obtenemos en el paso (3) el módulo de la transformada de Fourier denotada como  $|F(w_x, w_y)|$ , para evitar que el desplazamiento de la imagen no sea afectada en el plano de Fourier. Después de esto, paso (4), realizamos un filtraje pasa altas usando un filtro parabólico al módulo de la transformada de Fourier. Esta clase de filtros atenúan las bajas frecuencias mientras dejan pasar las altas frecuencias que realzan los detalles de borde, pero causan una reducción en el contraste de la imagen [13]. En el paso (5) introducimos un factor de escala dado por  $\sqrt{r}$ , donde  $r$  es la frecuencia espacial radial, indispensable para diferenciar la transformada a Escala [14] de la transformada de Mellin. Aquí se elige la primera transformada en vez de la segunda, debido a que es más sensible a los cambios de escala. Después, paso (6), las coordenadas Cartesianas son mapeadas a coordenadas polares para obtener la invariancia a rotación y luego, en el paso (7), se hace una interpolación bilineal a los primeros datos de la conversión de coordenadas para reducir la fuga de información por la aparición de los pixeles al momento de rotar la imagen debido al muestreo log-polar. Se hace un escalamiento logarítmico en la parte radial en coordenadas polares para realizar la invariancia a escala. Tomando la FFT, paso (8), obtenemos un filtro invariante a posición, rotación y escala, paso (9), el cual está expresado de la forma a la ecuación (1), donde  $|T|$  es el valor absoluto de la transformada de Fourier del objeto a ser reconocido.



**Figura 1.** Diagrama de bloques para obtener el filtro no lineal.

En la segunda parte de este método, realizamos la correlación invariante con un filtro no lineal como se muestra en la **figura 2**. La imagen problema es ahora la imagen de entrada, paso (1). Desde el paso (1) hasta el paso (9), el procedimiento es el mismo que el mostrado en la **figura 1**. El paso (9) muestra la información no lineal de la imagen problema, donde  $|G|$  es el valor absoluto de la transformada de Fourier de la imagen problema. Los pasos (9) y (10) muestran el proceso de correlación para obtener la correlación digital invariante, paso (11), a posición, rotación y escala usando un filtro no lineal.

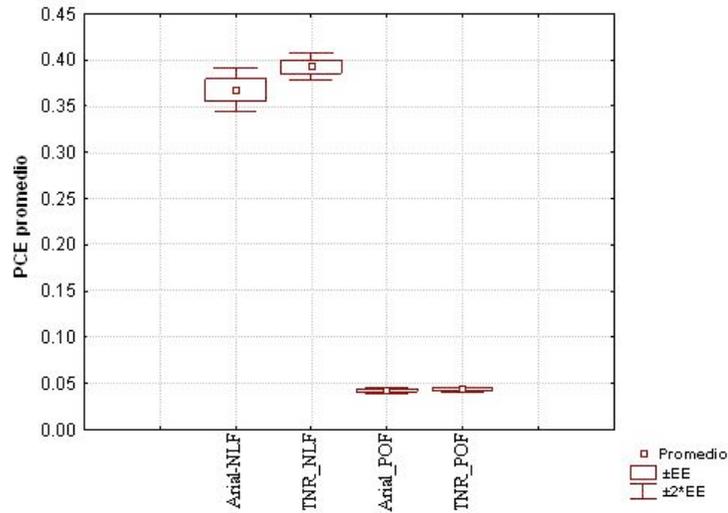


**Figura 2.** Diagrama de bloques representando al sistema de correlación digital invariante.

## Resultados y comentarios

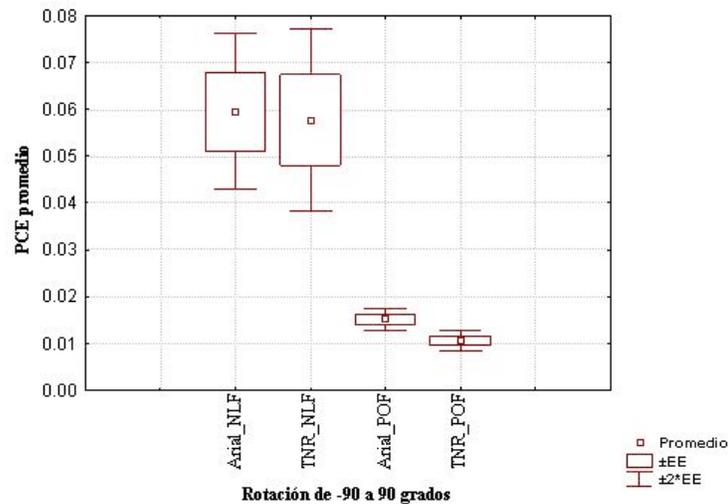
En nuestro sistema digital de correlación invariante usamos el factor de no linealidad  $k=0.3$  [15] para el filtro no lineal. Las letras fueron de color negro con fondo blanco. Los resultados se obtuvieron con un 95% de intervalo de confianza. En la **figura 3** se muestra la gráfica de cajas para el *pico de correlación energía* PCE vs. las letras del alfabeto de fuente Arial y Times New Roman con filtros no lineal y sólo de fase con valor de la media con un error estándar ( $\pm EE$ ) y dos errores estándar ( $\pm 2*EE$ ) para el PCE. Se puede observar que el desempeño del filtro no lineal fue superior por aproximadamente un factor de 10,

comparado con el filtro sólo de fase. Para el filtro no lineal se muestra que las letras de fuente Times New Roman tuvieron un valor promedio a un error estándar de PCE superior a las letras de fuente Arial. Para el caso del filtro sólo de fase, se observa que no hubo diferencias significativas del valor del PCE para ambas fuentes de letras.



**Figura 3.** Gráfica de cajas para el *pico de correlación energía* PCE vs. las letras del alfabeto de fuente Arial y Times New Roman (TNR) con filtros no lineal (NLF) y sólo de fase (POF).

En la **figura 4** se muestra la gráfica de cajas para el *pico de correlación energía* PCE vs. la letra E de fuente Arial y Times New Roman rotada  $\pm 90^\circ$ , con incrementos de  $5^\circ$ , con filtros no lineal y sólo de fase con valor de la media con un error estándar ( $\pm EE$ ) y dos errores estándar ( $\pm 2*EE$ ) para el PCE. Se puede observar que con el filtro no lineal, para las fuentes de ambas letras, los valores del PCE estadísticamente no son estadísticamente diferentes. Para el filtro sólo de fase, se observa un valor mayor del PCE para la letra de fuente Arial que para la Times New Roman. Sin embargo, el filtro no lineal tuvo un mayor desempeño que el filtro sólo de fase.



**Figura 4.** Gráfica de cajas para el *pico de correlación energía* PCE vs. la letra E de fuente Arial y Times New Roman (TNR) rotada  $\pm 90^\circ$ , con incrementos de  $5^\circ$ , con filtros no lineal (NLF) y sólo de fase (POF).

## Conclusiones

En este trabajo se presentó un sistema digital de correlación invariante aplicado al estudio de dos fuentes de letras, Arial y Times New Roman, en estilo plano. Se utilizaron dos tipos de filtros (no lineal y sólo de fase) para analizar los efectos de estas fuentes de letras, así como para comparar su desempeño. Los resultados mostraron que el filtro no lineal tuvo un desempeño considerablemente mayor comparado con el filtro sólo de fase y se obtuvo un valor promedio mayor a un error estándar para el PCE para las letras de fuente Times New Roman comparadas con las de fuente Arial. Para rotación utilizamos la letra E en Arial y en Times New Roman y no se encontraron diferencias significativas en los valores del PCE al utilizar el filtro no lineal, mas no así cuando se utilizó el filtro sólo de fase.

El trabajo futuro puede ser estudiar la tipografía de otras fuentes y estilos de letras siguiendo esta misma metodología la cual sería importante para el diseño de páginas Web y textos escritos.

**Agradecimientos:** Este documento fue parcialmente financiado por Conacyt con número de proyecto 102007.

## Referencias

1. Vander Lugt A. B. (1964). Signal detection by complex spatial filtering. *IEEE Trans. Inf. Theory*, **10**: 139-145.
2. Casasent D., Psaltis D. (1976). Scale invariant optical correlation using Mellin transforms. *Opt. Commun.*, **17**: 59-63.
3. Schwartz E. L. (1977). Afferent Geometry in the Primate Visual Cortex and the Generation of Neuronal Trigger Features. *Biol. Cybernetics*, **28**: 1-14.
4. Schwartz E. L. (1980). Computational anatomy and functional architecture of striate cortex: a spatial mapping approach to perceptual coding. *Vision Research*, **20**: 645-669.
5. Horner J. L., Gianino P. D. (1984). Phase-only matched filtering. *Appl. Opt.*, **23**(6): 812-816.
6. Vijaya Kumar B. V. K., Hassebrook L. (1990). Performance measures for correlation filters. *Appl. Opt.*, **29**(20): 2997- 3006.
7. Javidi B., Horner J. L. (1994). *Real-Time Optical Information Processing*, Academic Press, San Diego.
8. De Sena A., Rocchesso D. (2007). A Fast Mellin and Scale Transform. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, **2007**: 1-9.
9. De Sena A., Rocchesso D. (2004). A Fast Mellin Transform With Applications in DAFX. *Proc. Of the 7<sup>th</sup> Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx'04)*, Naples, Italy, 65-69 October.
10. Cristóbal G., Cohen L. (1998). Image filtering and denoising through the scale transform. *International Symposium on Time-Frequency and Time-Scale Analysis, Proceedings of the IEEE-SP*, 617-620.
11. Pech-Pacheco J. L., Álvarez-Borrego J., Cristóbal G., Matthias S. Keil. (2003). Automatic object identification irrespective of geometric changes. *Opt. Eng.*, **42**(2), 551-559.
12. Goodman J. W. (1968). *Introduction to Fourier Optics*, 277, McGraw-Hill, Inc.
13. Gonzales R. C., Woods R. E. (2008). *Digital Image Processing*, 256-258, PEARSON Prentice Hall.
14. Cohen L. (1995). *Time Frequency Analysis*, Chaps. 18 and 19, Prentice Hall.
15. Coronel-Beltrán A., Álvarez-Borrego J. (2008). Nonlinear filter for pattern recognition using the scale transform. *Applications of Digital Image Processing XXXI, Proc. of SPIE Vol. 7073*.