

EXPANSIÓN DE UNA IMAGEN EMPLEANDO LÓGICA DIFUSA

Álvaro Anzueto Ríos, Dr. Alma Aidé Sánchez Ramírez, M. en T. A.

Profesores, Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas
Instituto Politécnico Nacional, CDMX, México

aanzueto@ipn.mx, aasanchezra@ipn.mx

Resumen

El procesamiento de imágenes es una disciplina clave en la manipulación, análisis y comprensión de datos visuales. Implica una variedad de técnicas para mejorar la calidad de las imágenes, procesar la información visual y extraer características relevantes. Diversas técnicas se aplican en el procesamiento de imágenes, incluyendo la restauración, el filtrado, la segmentación, la clasificación y la expansión. En este reporte se aborda el proceso de expansión de una imagen, combinando la técnica de interpolación bilineal con la lógica difusa. Los problemas que suelen presentarse al aplicar la interpolación bilineal son la generación de imágenes con un suavizado o artefactos no deseados en los bordes de alto contraste; para minimizar estos inconvenientes se plantea el uso de lógica difusa. Por lo tanto, se presenta como una alternativa al cálculo de los valores numéricos de los píxeles desconocidos cuando una imagen es ampliada o expandida; se procesan los altos contrastes bajo una visión de difusividad y transiciones suaves. En la sección de resultados se presentan un par de imágenes que avalan el desempeño de la propuesta.

Palabras Clave: Expansión de imagen, Lógica difusa, Interpolación bilineal, Procesamiento de imágenes, Píxeles, Escalado, Alto contraste.

Abstract

Image processing is a key discipline in the manipulation, analysis, and understanding of visual data. It involves a variety of techniques to improve image quality, process visual information, and extract relevant features. Various techniques are applied in image processing, including restoration, filtering, segmentation, classification, and expansion. This report addresses the process of image expansion, combining the bilinear interpolation technique with fuzzy logic. The problems that usually arise when applying bilinear interpolation include the generation of images with unwanted smoothing or artifacts at high-contrast edges; to minimize these drawbacks, the use of fuzzy logic is proposed. Therefore, it is presented as an alternative for calculating the numerical values of unknown pixels when an image is enlarged or expanded; high contrasts are processed under a vision of diffusivity and smooth transitions. In the results section, a pair of images are presented that validate the performance of the proposal.

Keywords: Image expansion, Fuzzy logic, Bilinear interpolation, Image processing, Pixels, Scaling, High contrast.

1. Introducción

El procesamiento de imágenes es una disciplina clave en el procesamiento, análisis y comprensión de datos visuales. Implica una variedad de técnicas para mejorar la calidad de las imágenes, procesar la información visual y extraer características relevantes. Diversas técnicas se aplican en el procesamiento de imágenes, incluyendo la restauración, el filtrado, la segmentación, la clasificación y la expansión [?, ?].

La **expansión de imágenes** (figura 1) es un proceso central en el procesamiento de imágenes, donde la resolución de una imagen se incrementa generando una versión más grande basada en la imagen original. Esta técnica se apoya en métodos de interpolación para generar nuevos píxeles que se colocan entre los píxeles existentes, por lo que el proceso también suele llamarse «interpolación de imágenes». Entre las téc-

nicas de interpolación, la **interpolación bilineal** es comúnmente utilizada [?, ?]. La expansión de imágenes es crucial para mejorar la resolución y la calidad visual de imágenes pequeñas.

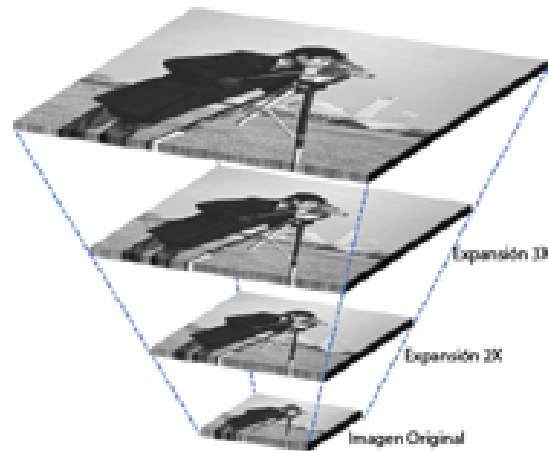


Figura 1 Esquema general del proceso de expansión de una imagen.

La interpolación bilineal es una técnica popular que amplía una imagen generando nuevos píxeles entre los originales mediante promedios ponderados. Sin embargo, puede resultar en suavizados o artefactos no deseados en los bordes de alto contraste.

Para mejorar este proceso, se han propuesto métodos más avanzados, como la **interpolación bicúbica**, que utiliza una función de interpolación más compleja teniendo en cuenta píxeles vecinos y reduciendo los artefactos presentes en la interpolación bilineal. Otros enfoques, como la **interpolación por spline**, buscan ajustar funciones de interpolación suaves a los píxeles existentes para mejorar la calidad de la imagen durante la expansión.

La **lógica difusa** [?] es una técnica matemática que trata con la incertidumbre y la imprecisión en los datos. Se aplica en el procesamiento de imágenes para mejorar los valores de los píxeles mediante reglas heurísticas basadas en la información del píxel actual y sus vecinos. Al emplear la lógica difusa, se adaptan los valores de los píxeles según reglas flexibles (como la «humana») y no lineales, permitiendo una interpretación menos rígida y con mayor adaptabilidad de los datos visuales.

En la expansión de imágenes, la lógica difusa se ha aplicado para ajustar los valores de los nuevos píxeles generados por la interpolación. Esto permite adaptar de manera más efectiva estos valores a las características y estructuras de la imagen original, mejorando la calidad y manteniendo la fidelidad visual durante el proceso de expansión. Para nuestro caso, se propone el uso de la lógica difusa para abordar el problema de altos contrastes como un proceso de transición suave, logrando mantener una transición coherente y flexible entre los píxeles originales y el cálculo de los valores en los píxeles agregados en el proceso de expansión [?].

2. Desarrollo

Como hemos mencionado previamente, la expansión de imágenes es un proceso crucial que aumenta la resolución de una imagen al insertar nuevos píxeles entre los existentes, lo que conduce a una representación visual de mayor calidad y detalle.

2.1 Interpolación bilineal

La interpolación bilineal es empleada para determinar los valores de los nuevos píxeles entre los píxeles originales; se basa en calcular los valores mediante un promedio ponderado de los vecinos más cercanos. La fórmula matemática para la interpolación bilineal en la expansión de imágenes se define por la ecuación (1):

$$I(x, y) = (1 - \Delta x)(1 - \Delta y) I_{00} + \Delta x(1 - \Delta y) I_{10} + (1 - \Delta x) \Delta y I_{01} + \Delta x \Delta y I_{11} \quad (1)$$

donde:

$I(x, y)$ — valor del píxel en las coordenadas (x, y) .

$I_{00}, I_{10}, I_{01}, I_{11}$ — valores de los píxeles vecinos más cercanos.

$\Delta x, \Delta y$ — diferencias normalizadas entre las coordenadas (x, y) y las coordenadas de los píxeles vecinos.

2.2 Regla de lógica difusa

En el contexto de la expansión de imágenes, la lógica difusa se aplica para ajustar los valores de los nuevos píxeles generados por la interpolación. Esto permite una adaptación más efectiva de los valores, considerando las características y estructuras de la imagen original.

Una regla común de lógica difusa aplicada en el procesamiento de imágenes es la que se expresa en la ecuación (2):

$$I_{adj}(i, j) = \alpha \cdot I_{interp}(i, j) + (1 - \alpha) \cdot \frac{1}{4} \sum_{k,l \in \mathcal{N}} \text{imagen}(\text{máx}(i + k, 0), \text{máx}(j + l, 0)) \quad (2)$$

donde:

$\text{imagen}(i, j)$ — valor del píxel en la posición (i, j) de la imagen original.

\mathcal{N} — vecindad del píxel considerada por la regla difusa.

$\text{máx}(i - 1, 0), \text{máx}(j - 1, 0)$ — se utilizan para asegurarse de no salirse de los límites de la imagen.

α — coeficiente de ponderación difusa que controla el grado de suavizado.

La lógica difusa aplicada después de la interpolación permite ajustar los valores de los píxeles generados, lo que contribuye significativamente a mejorar la calidad visual de la imagen escalada.

2.3 Implementación del algoritmo

A continuación se presenta una explicación ordenada de los pasos a seguir en la implementación de la expansión de una imagen en escala de grises. El código utiliza una técnica de interpolación basada en lógica difusa para escalar una imagen a una ampliación de $2\times$ y $3\times$:

1. **Interpolación bilineal difusa:** Para cada píxel en la imagen ampliada, se buscan los píxeles vecinos más cercanos en la imagen original. Se calculan los coeficientes de ponderación difusa basados en la distancia del píxel actual a los píxeles vecinos. Se utilizan estos coeficientes para realizar la interpolación bilineal difusa entre los píxeles vecinos y obtener un valor interpolado.
2. **Ajuste difuso:** Para implementar la lógica difusa, se realiza un proceso de inferencia tipo min-max. El valor ajustado se calcula tomando un porcentaje del valor interpolado original y un porcentaje de un valor aleatorio centrado en el valor interpolado original. Esto introduce un grado de incertidumbre o difusión en los valores de los píxeles, tal como se indica en la ecuación (2).
3. **Escalado y generación de la imagen:** Se utilizan estos métodos para escalar la imagen a una ampliación de $2\times$ y $3\times$, iterando sobre cada píxel de la imagen ampliada y realizando los cálculos mencionados anteriormente.

En resumen, la interpolación bilineal se utiliza para calcular los valores de los píxeles en la imagen ampliada, mientras que el ajuste difuso agrega cierto nivel de incertidumbre o difusión a estos valores para simular una expansión suave en el proceso de escalado de la imagen.

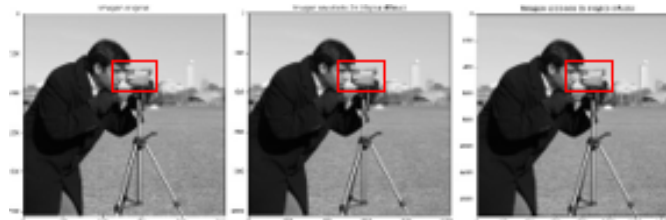
3. Resultados

Como parte de las pruebas realizadas se presentan los resultados de aplicar el algoritmo desarrollado a dos imágenes.

3.1 Imagen *cameraman*

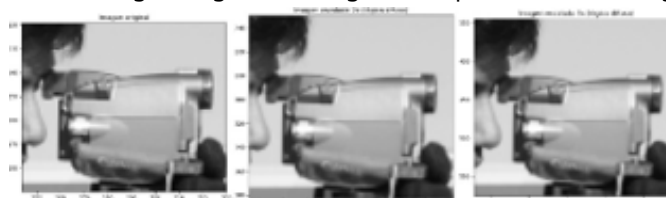
La primera imagen es denominada *cameraman* [?], una imagen en escala de grises que representa a un hombre con una cámara fotográfica. Esta imagen es utilizada con frecuencia en la investigación y experimentación en procesamiento de imágenes; contiene una cantidad moderada de detalles y texturas, lo que la hace adecuada para probar el método de expansión.

En la figura 2(a), de izquierda a derecha, se muestran la imagen original, la expansión $2\times$ y la expansión $3\times$; debido al buen desempeño del algoritmo, se aprecian prácticamente idénticas sin perder definición. En la figura 2(b) se muestran las ampliaciones de las secciones en rojo, donde es posible notar cómo se mantiene la resolución de la imagen aun siendo ampliada en un factor de $2\times$ y $3\times$.



(a)

(a) De izquierda a derecha: imagen original — imagen en expansión $2\times$ — imagen en expansión $3\times$.



b)

(b) De izquierda a derecha: sección en rojo de imagen original — sección en expansión $2\times$ — sección en expansión $3\times$.

Figura 2 Expansión de la imagen *cameraman*.

3.2 Imagen *page*

La segunda imagen es denominada *page*, una imagen en escala de grises que contiene un segmento de texto y presenta un conjunto diverso de formas, texturas y detalles que permiten realizar pruebas de expansión. Es importante notar que, en el proceso de expansión $2\times$ y $3\times$, las letras conservan su definición y en general los detalles de la imagen original.

Cabe resaltar el resultado de la expansión en $3\times$: en ella se tiene una atenuación —en relación con la misma sección de la imagen original (figura 3(b))— que se atribuye al proceso de lógica difusa, la cual logra difuminar el ruido presente en la imagen original.

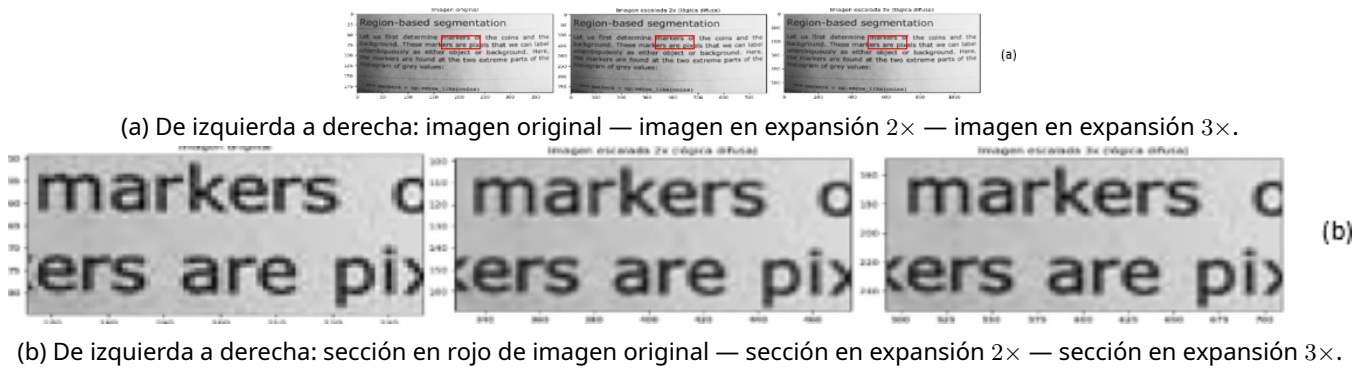


Figura 3 Expansión de la imagen *page*.

A manera de análisis final, la idea básica es calcular los valores de los nuevos píxeles a través de una combinación ponderada de los valores de los píxeles vecinos, tomando en cuenta tanto las distancias horizontales como verticales. Luego se aplica un ajuste difuso para simular la incertidumbre, minimizarla y mejorar la calidad de la imagen resultante.

4. Conclusiones

La interpolación bilineal, presentada en este trabajo, se utiliza para calcular los valores de los píxeles en la imagen ampliada, mientras que el ajuste difuso agrega cierto nivel de incertidumbre o difusión a estos valores. La lógica difusa permite manejar la incertidumbre y agregar variabilidad a los valores calculados, lo que puede ayudar a mejorar la calidad de la imagen ampliada. Sin embargo, es necesario realizar mayores pruebas para determinar las limitaciones de esta propuesta de ampliación de imágenes.

Nota

Los autores están en la mejor disposición de compartir el programa computacional desarrollado en esta propuesta de ampliación de imágenes; tan solo envíe un correo electrónico a la dirección de cualquier autor solicitándolo.

Referencias

- [1] González, R. C., Woods, R. E. y Eddins, S. L. (2009). *Digital Image Processing Using MATLAB*. Gatesmark Publishing.
- [2] Pratt, W. K. (2007). *Digital Image Processing*. John Wiley & Sons.
- [3] Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer Science & Business Media.
- [4] Ross, T.J. (2009). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons.
- [5] Bezdek, J. C. (2013). *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Springer Science & Business Media.
- [6] Scikit-Image. (s.f.). *User Guide*. Disponible en: <https://scikit-image.org/docs/stable/api/skimage.data.html> (consultado el 1 de diciembre de 2023).

Cómo citar este artículo en APA

Anzueto Ríos, Á. y Sánchez Ramírez, A. A. (1 de enero de 2024). Expansión de una imagen empleando lógica difusa. *Boletín UPIITA*, 18(100). Disponible en: <https://www.poner-la-liga-del-articulo>