

Realce de imágenes en teledetección: (I) Operadores puntuales

Apellidos, nombre	Ruiz Fernández, Luis Ángel (laruiz@cgf.upv.es)
Departamento	Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría
Centro	ETSI. Geodésica, Cartográfica y Topográfica



1 Introducción

El objetivo de las técnicas de realce de imágenes es la mejora de la apariencia visual de la imagen, convirtiéndola en una forma más apropiada para el análisis visual o automático. A diferencia de las operaciones de corrección radiométrica, en las que se persigue una restauración de la imagen ideal (libre de los efectos atmosféricos y del sensor), el realce va encaminado al procesado de la imagen de forma que resulte más apropiada para su interpretación o para una aplicación específica.

Las técnicas de realce descritas en este artículo se dividen en dos grupos: los *operadores puntuales* son transformaciones que modifican el nivel de gris de cada píxel independientemente de la naturaleza de los píxeles vecinos; las técnicas de *modificación del histograma* también modifican el nivel de gris de cada píxel, pero en este caso basándose en el estudio del histograma de la imagen completa. Nos ocuparemos únicamente de técnicas de realce que afectan a una sola banda espectral, independientemente de las demás, dejando aparte otras técnicas de realce de imágenes multiespectrales, en las que se consideran varias bandas espectrales. La figura 1 muestra los elementos que se describen en este artículo.

- *Transformaciones lineales*
 - *Ajuste por ganancia y desfase*
 - *Ajuste según la media y la desviación típica*
 - *Cómo mejorar el contraste*
 - *globalmente*
 - *por tramos*
 - *Umbralización y rebanado*
 - *Escalado de niveles de intensidad*
- *Transformaciones no lineales: logarítmica y exponencial*
- *Técnicas de modelización del histograma*
 - *Ecualización del histograma*
 - *Especificación del histograma*

Figura 1.- Esquema de las principales técnicas de realce de imágenes basadas en transformaciones y en modelización del histograma.

2 Objetivos

- Comprensión de las principales técnicas de realce de imágenes monobanda y de su aplicación en casos reales.
- Aprender a mejorar el contraste de una imagen mediante el diseño de la transformación lineal apropiada.
- Aprender a diseñar el ajuste o normalización entre dos histogramas mediante transformaciones lineales o modificaciones del histograma.



3 Operadores puntuales

Operan en función de la intensidad de cada píxel independiente y consisten en la aplicación de funciones de transformación sobre cada píxel a lo largo de una imagen simple (una única banda). Son las técnicas de realce más sencillas y, en la práctica, pueden aplicarse por medio de LUT's (Look Up Tables) o tablas indexadas de asignación, en las cuales a cada valor de nivel de gris de entrada se le hace corresponder un valor prefijado de salida. Resultan útiles para aplicar transformaciones sin tener que calcular el valor de salida de cada píxel. Además de conferir rapidez a los cálculos, las LUT's permiten almacenar modificaciones de las imágenes en forma de tablas (de sólo 256 valores para imágenes cuya resolución radiométrica sea de 8 bits/píxel), sin necesidad de almacenar la imagen completa.

Emplearemos la siguiente notación: $f(x,y)$ la imagen original, $g(x,y)$ la imagen procesada o resultante y T la función de transformación.

Ejemplo: ¿Cuál es la transformación que da como resultado el negativo de la imagen?

La imagen resultante vendrá dada por la expresión: $g(x,y) = (L - 1) - f(x,y)$

donde L representa el rango de niveles de gris de la imagen. La figura 2 muestra un ejemplo gráfico con la imagen inicial (f), la resultante (g) y los histogramas antes y después de la transformación. En el primero aparece la recta de la transformación que produce el “negativo”.

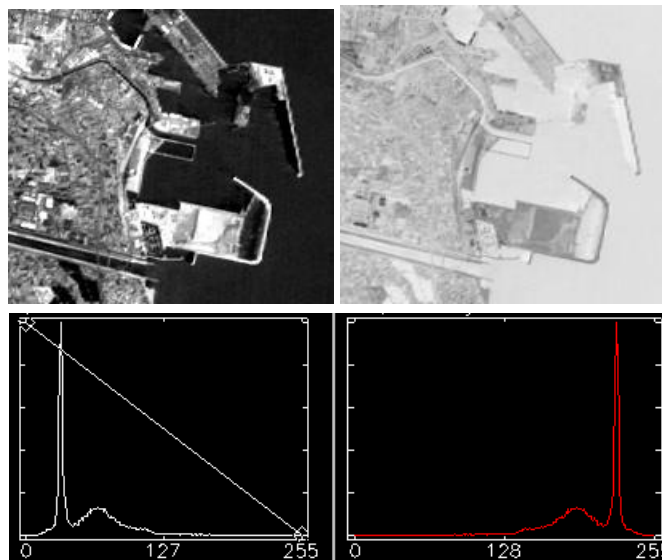


Figura 2.- Transformación que produce el “negativo” de una imagen. En la parte izquierda se muestra la imagen original (arriba) y su histograma (abajo), indicando sobre éste la recta que define la transformación. En la parte derecha se muestran la imagen resultante (arriba) y su histograma (abajo).

A continuación se describen varios tipos de transformaciones, agrupándolas en lineales y no lineales.

Transformaciones lineales: Son aquellas definidas mediante una función lineal. Pueden ser especificadas de diversas formas:



a) Modificación de ganancia y desfase:

$$g(x,y) = a f(x,y) + b$$

donde a (ganancia) controla el contraste y b (desfase) controla el brillo general de la imagen. Puede aplicarse para corregir *a posteriori* estas dos variables propias de cada sensor.

b) Ajuste de media y desviación típica:

Transformación similar a la anterior en la que se especifican la media (μ) y la desviación típica (σ) de la imagen resultante $g(x,y)$. Así, los valores de a y b se expresan en función de estos dos parámetros:

$$a = \sigma_g / \sigma_f \quad ; \quad b = \mu_g - a \mu_f$$

Esta transformación es la base de la normalización de imágenes, utilizada para ajustar las señales de los distintos detectores de un sensor, corregir radiométricamente escenas de distintas fechas para su posterior comparación, o escenas adyacentes que se pretende solapar para construir un mosaico (figura 3).

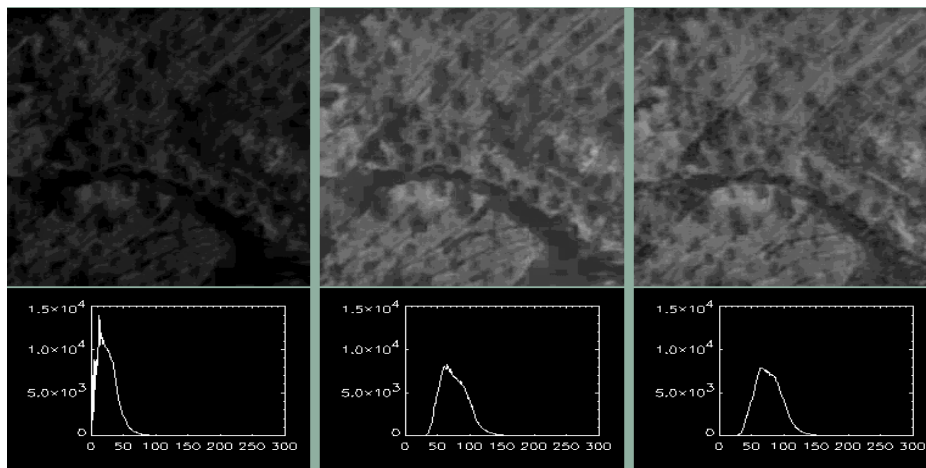


Figura 3.- Ejemplo de normalización para la formación de mosaicos. El histograma de la imagen original (izquierda) ha sido adaptado (centro) para que se ajuste al de referencia (derecha).

Ejemplo:

Dada una imagen $f(x,y)$ cuyo histograma presenta unos valores de $\mu_f = 100$ y $\sigma_f = 10$, se pretende modificar para ajustarlo al de otra imagen $g(x,y)$ con $\mu_g = 80$ y $\sigma_g = 15$.
¿Qué transformación lineal haría falta aplicar?

$$g = a f + b$$

$$a = \sigma_g / \sigma_f = 15 / 10 = 1,5 \quad ; \quad b = \mu_g - a \mu_f = 80 - 1,5 \times 100 = -70$$

$$\underline{\text{resultado:}} \quad g = 1,5 f - 70$$

c) Mejora del contraste:

El **histograma** de una imagen digital es la representación gráfica de las frecuencias en las que aparecen los distintos valores de intensidad en la imagen. El eje de abscisas representa el intervalo completo de niveles de gris y el de ordenadas las frecuencias.



Su observación nos da idea de la distribución de los valores de la imagen, pudiendo deducir si está poco contrastada (frecuencias concentradas en un intervalo reducido de niveles de gris), o identificar tipos de cobertura con respuesta espectral diferente (relacionadas con los máximos relativos del gráfico).

Estos métodos consisten en la selección de dos valores de nivel de gris, uno bajo y otro alto, a partir de los cuales se "dilata" el histograma para mejorar su contraste. Los dos valores pueden ser el mínimo y máximo de nivel de gris en el histograma, pueden elegirse como un porcentaje de los valores extremos del histograma (bajos y altos), puede seleccionarlos el mismo usuario tras analizar el histograma de la imagen, o bien se puede emplear cualquier otro método automático para su definición. El efecto puede verse en la figura 4.

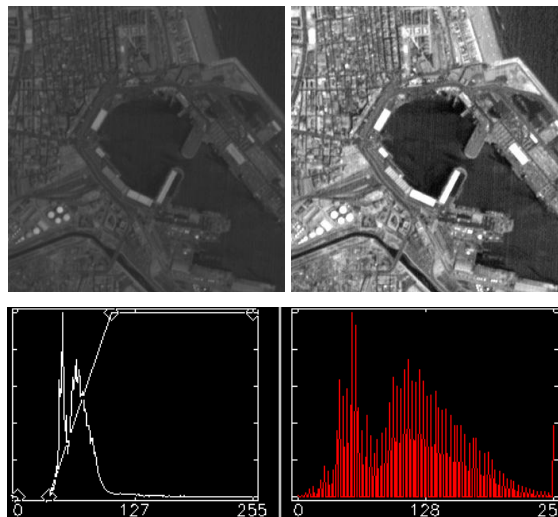


Figura 4.- Mejora del contraste mediante una transformación lineal.

d) Transformaciones lineales por tramos (piecewise):

Se divide el intervalo de valores de entrada en varias partes, y a cada una de ellas se le aplica una transformación lineal distinta (figura 8.4).

$$g = \begin{cases} \alpha f & 0 \leq f \leq a \\ \beta(f - a) + g_a & a < f \leq b \\ \gamma(f - b) + g_b & b < f \leq L \end{cases}$$

Valores de α , β , $\gamma > 1$ tienen el efecto de aumento del contraste (la pendiente de la recta de transformación es superior a la unidad dentro del intervalo en cuestión), mientras que valores de α , β , $\gamma < 1$ reducen el contraste (pendiente inferior a la unidad).

Se emplean para resaltar, mediante el aumento del contraste, aquellas zonas de la imagen cuyos niveles de gris están comprendidos dentro de un intervalo dado. Ejemplo en la figura 5.

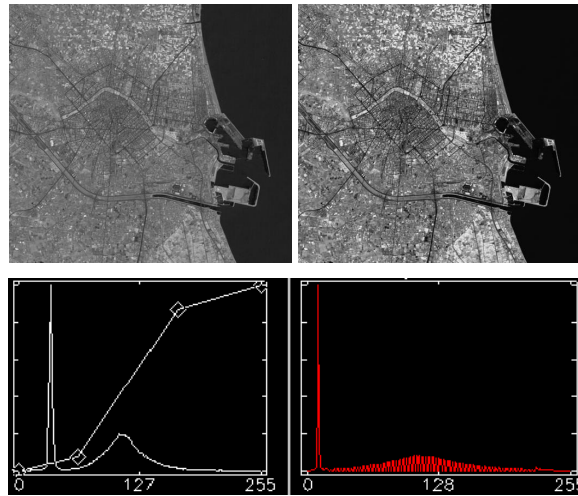


Figura 5.- Transformación lineal por tramos. Se ha aumentado el contraste en los niveles de intensidad medios y reducido en los extremos.

e) Umbralización y rebanado (de niveles de intensidad):

En su forma más simple, la *binarización*, consiste en determinar un valor umbral de intensidad en la imagen, de forma que a aquéllos píxeles cuyo valor quede por debajo de dicho umbral se les asigna un valor cero, y a los que quedan por encima se les asigna el valor máximo (figura 6). Se utiliza para aislar regiones de interés en la imagen, las cuales pueden ser analizarlas posteriormente por otros métodos.

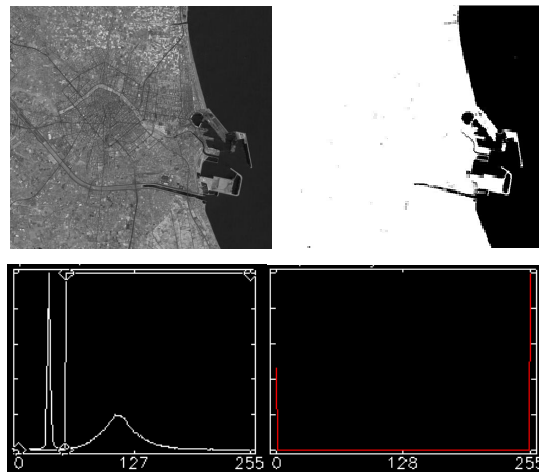


Figura 6.- Binarización de una imagen con un umbral de valor 50. El histograma resultante sólo tiene los valores 0 y 255.

Variaciones de este método consisten en la elección de varios umbrales (*umbralización múltiple*), o en el rebanado de los valores de intensidad en la imagen de entrada, definiendo nuevos valores para cada intervalo en la imagen de salida, e incluso asignando diferentes colores para cada intervalo (es equivalente a seccionar la función de intensidad de la imagen por planos de igual intensidad).

El umbral puede elegirse de forma manual o automática, y puede aplicarse de forma global (el mismo valor a toda la imagen), local (en función de los valores de intensidad en cada vecindario) o dinámico (en función de las coordenadas de cada punto).



f) Escalado de niveles de intensidad :

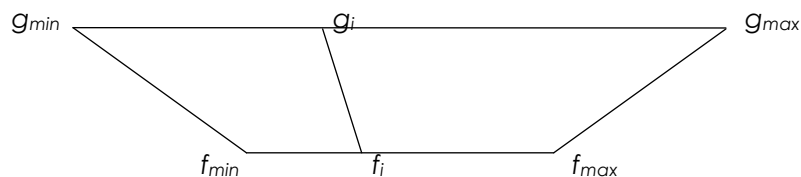
Consiste en la producción de una imagen cuyo intervalo de niveles de intensidad sea diferente al de la imagen original. Esta operación suele ser necesaria tras ciertos procesos que modifican el intervalo de valores de la imagen original (componentes principales, filtros,...), haciendo difícil su visualización en sistemas que trabajan con un intervalo fijo (por ejemplo, 256 niveles de intensidad).

Sean f_{min} y $f_{máx}$ los posibles valores de intensidad mínimo y máximo, respectivamente, de la imagen de entrada, y g_{min} y $g_{máx}$ los de la imagen de salida; y sean f_i y g_i dos valores genéricos en ambas imágenes. Para calcular cada valor g_i en la imagen final planteamos la siguiente relación de proporcionalidad

$$\frac{f_i - f_{min}}{f_{max} - f_{min}} = \frac{g_i - g_{min}}{g_{max} - g_{min}}$$

despejando

$$g_i = g_{min} + \frac{f_i - f_{min}}{f_{max} - f_{min}} \times (g_{max} - g_{min})$$



Transformaciones no lineales: Aunque pueden ser de muchos tipos, destacaremos dos de ellas.

g) Transformación logarítmica:

A veces, el intervalo de valores de una imagen procesada sobrepasa las posibilidades del dispositivo de visualización (tarjeta gráfica...), por lo que es necesario comprimirlo. Una forma efectiva de comprimir el intervalo de los valores de intensidad es la transformación logarítmica:

$$g(x,y) = k \log(1 + |f(x,y)|) \quad ; \quad k = \text{constante de escala}$$

Ejemplo :Supongamos una imagen con $R= 2,5 \times 10^6$ niveles de intensidad con precisión decimal, la cual deseamos reducir a $L=256$ niveles positivos y enteros para su visualización. Si el intervalo de valores de entrada es $\{0, 6.4\}$ y el de salida $\{0, 255\}$, se necesitará una constante de escala $k = 255 / 6.4$

Esta transformación amplía el contraste en los valores bajos comparados con los valores elevados, y resulta apropiada cuando se dispone de una imagen cuyo intervalo de niveles de gris es muy grande pero sus valores están concentrados en la parte izquierda del histograma (niveles bajos de intensidad).

b) Transformación exponencial:

Tiene el efecto opuesto a la anterior. Aumenta el detalle en las zonas más claras o brillantes, disminuyéndolo en las más oscuras. Su expresión es:

$$g(x,y) = k (e^{|f(x,y)|} - 1)$$



4 Técnicas de modelización del histograma

Son técnicas basadas en la modificación del histograma de una imagen para que posea una forma predefinida. Se utilizan para aumentar el contraste de imágenes cuyo histograma es demasiado estrecho (valores de intensidad concentrados en un intervalo reducido en relación con el rango de niveles de gris posible), o para hacer que dos o más histogramas sean comparables entre sí. Existen dos métodos fundamentales: *ecualización* y *especificación*.

Ecualización del histograma

El objeto es conseguir un histograma lo más plano y uniforme posible. Los valores de intensidad de la imagen se distribuyen homogéneamente a lo largo del intervalo de niveles de gris ($0 \leq g(x,y) \leq L-1$). Por ejemplo, en una imagen de tamaño 256×256 con 256 niveles de gris, todos y cada uno de los valores deberán estar repetidos en 256 píxeles para que su histograma se considere idealmente plano. En la práctica, los valores de intensidad se redistribuyen de forma que haya aproximadamente el mismo número de píxeles con cada valor. De esta forma se aumenta el contraste en los picos del histograma y se disminuye en los valles. Tal y como se muestra en la figura 7, el resultado es la mejora global del contraste de la imagen.

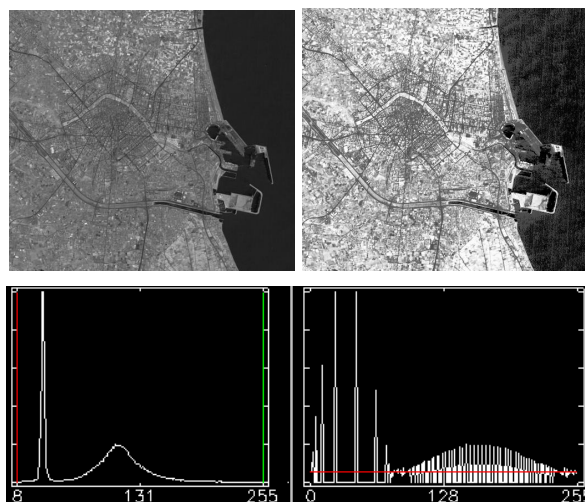


Figura 7.- Ecualización del histograma, con la imagen original (izquierda) y el resultado de la ecualización (derecha).

Especificación del histograma

Método análogo al anterior, con la salvedad de que, en vez de utilizar un histograma ideal (plano) se utiliza otro especificado previamente. Suele aplicarse, como método alternativo, en los mismos casos que la normalización de histogramas mediante la media y la desviación típica, es decir, cuando:

- Se van a comparar imágenes de una misma zona que han sido tomadas en fechas diferentes o por sensores distintos. Esto es habitual cuando se analizan cambios o evoluciones.
- Se va a realizar el mosaico con imágenes de dos pasadas o trazas diferentes.
- Se desea corregir el efecto de un detector con diferente calibración que los demás dentro de un sensor.



En general, se obtienen mejores resultados cuanto más similitud exista entre los dos histogramas.

5 Conclusiones

Los métodos de realce de imágenes basados en operadores puntuales se emplean fundamentalmente en teledetección para mejorar el contraste de una imagen, para realizar ajustes o normalizaciones radiométricas entre dos imágenes y para reescalar los valores de una imagen de entrada en un intervalo diferente en la imagen de salida. Además, las técnicas de umbralización (binarización en su caso más extremo) permiten realizar máscaras binarias entre dos coberturas dominantes diferentes, que pueden utilizarse posteriormente en procesos intermedios de procesado.

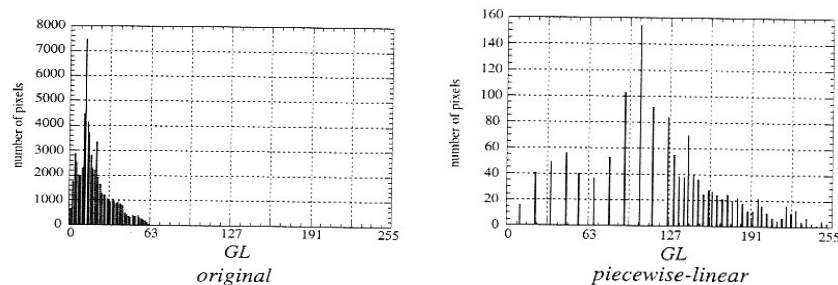
En una transformación lineal, si la pendiente de la recta es superior a 1 (45°) implica aumento del contraste, si es inferior implica disminución del contraste en la imagen. Los métodos de modelización del histograma persiguen generar una nueva imagen cuyo histograma se parezca a otro de referencia y su utilidad puede ser la mejora automática del contraste (ecualización) o la normalización radiométrica (especificación).

6 Bibliografía

- González, R. Y R.E. Woods, 1992. Digital Image Processing. Addison-Wesley.
- Pajares, G. y De la Cruz, J.M. Visión por computador: Imágenes digitales y aplicaciones. Rama. Madrid, 2001.
- Richards, John A., 1993. Remote sensing digital image analysis, an introduction. Springer-Verlag.
- Ruiz Fernández, L.A., 1998. Introducción al tratamiento digital de imágenes en teledetección. S.P. Universidad Politécnica de Valencia.
- Schowengerdt, Robert A., 1997. Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing. Academic Press.

7 Ejercicio práctico

¿Qué transformación por tramos se ha aplicado al histograma original (izquierda)?





8 Glosario

Binarización: Transformación lineal en dos tramos en la que la imagen de salida adquiere dos únicos valores.

Ecualización (del histograma): Método automático de realce mediante el cual se modifica el histograma de una imagen de forma que resulte lo más plano posible y las frecuencias de los valores de intensidad de la imagen se distribuyan lo más homogéneamente posible en todo el intervalo posible de niveles de gris. Resulta en un aumento del contraste de la imagen.

Especificación (del histograma): Método automático de modificación del histograma, análogo a la ecualización, pero en este caso el histograma se ajusta al de otra imagen tomada como referencia, consiguiendo normalizarlos para su posterior comparación. Es útil para comparar imágenes de fechas distintas o para la reducción del cambio radiométrico entre escenas en la generación de mosaicos.

LUT: *Look Up Table*, es una tabla indexada de asignación, en la que a un valor de nivel de gris de entrada se le hace corresponder un valor prefijado de salida. Se emplea para la aplicación de transformaciones lineales.

Rebanado (de niveles de intensidad): Transformación lineal por tramos en la que a cada intervalo de valores de entrada se le asigna un valor constante de salida, equivalente a seccionar la función de intensidad de la imagen por planos de igual intensidad.

Umbralización: Transformación lineal por tramos en la que se fija uno o varios umbrales en el nivel de intensidad de la imagen, a partir de los cuales la imagen toma un valor constante y diferente al del tramo anterior. En ocasiones resulta en la binarización de la imagen.