

Análisis de mezclas espectrales

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



1 Resumen

Los métodos de clasificación de imágenes multiespectrales se basan normalmente en la asignación de un valor temático (clase) a cada píxel a partir de sus valores de intensidad en las diferentes bandas espectrales. Sin embargo, la energía reflejada correspondiente a cada píxel proviene en realidad de varios elementos del paisaje con distintas respuestas espectrales y representados en diferentes proporciones. Los métodos de mezclas espectrales permiten estimar la proporción de los elementos puros presentes en cada píxel a través de un conjunto de muestras identificadas en la escena.

En este tema se describe el concepto básico de mezcla espectral de una imagen, la metodología para calcular las fracciones espectrales de cada elemento puro presente en la escena y se interpretan los resultados a través de un caso práctico muy sencillo en el que se aplica el método a un fragmento de imagen IRS LISS-III con cuatro elementos puros.

2 Introducción

En los procedimientos tradicionales de segmentación o clasificación de imágenes multiespectrales, a cada píxel se le asigna el valor de una clase informacional o cualitativa que se corresponde estrictamente con las unidades temáticas que se desean cartografiar, como por ejemplo un tipo de cultivo (maíz, cebada, ...) en una clasificación agrícola, o un tipo de roca o mineral (caliza, yesos, ...) en una clasificación geológica. En ocasiones se establecen clases de forma que sus propias definiciones nos sugieran una combinación de elementos, como puede ser una zona urbana, que contiene edificios de diferentes materiales, avenidas, parques, etc., pero sin expresar una información cuantitativa acerca de esta combinación.

Sin embargo, de forma natural cada píxel representa, por lo general, varios elementos puros del paisaje. Esta combinación o mezcla de elementos viene dada en función de la resolución espacial del sistema sensor en el que se han adquirido las imágenes y de la escala espacial de las características u objetos representados. Al igual que ocurre con las texturas de una imagen, la mezcla de firmas no se elimina incrementando la resolución espacial de las imágenes, sino que únicamente cambia.

Además de la propia mezcla de elementos que definen el paisaje, durante las operaciones de pre-procesado de las imágenes suelen realizarse operaciones de remuestreo. Cuando el método empleado en el remuestreo no es el del vecino más próximo, se produce una mezcla adicional en la imagen.

3 Objetivos

- Identificar el concepto de mezcla espectral y su relación con el valor de reflectancia que se le asigna a un píxel en una imagen digital.
- Interpretar la metodología de análisis de mezclas espectrales lineal en imágenes multiespectrales.



- Aplicar e interpretar, a través de un caso práctico, los resultados del análisis de mezclas espectrales lineal.

4 Concepto de mezcla espectral en imágenes

La respuesta espectral de un píxel puede entenderse como la suma de las respuestas espectrales de los elementos puros que en él se representan, cada uno de ellos ponderado en función de la proporción de superficie que ocupa.

Supongamos que la figura 1 representa un píxel donde coexisten las coberturas A, B y C. El valor digital o de intensidad del píxel i en la banda espectral j puede obtenerse mediante la suma ponderada de los valores digitales (x_A , x_B y x_C) de las respectivas coberturas

$$x_{ij} = 0,20x_A + 0,55x_B + 0,25x_C$$

suponiendo que A ocupe el 20% de la superficie representada por el píxel, B el 55% y C el 25%.

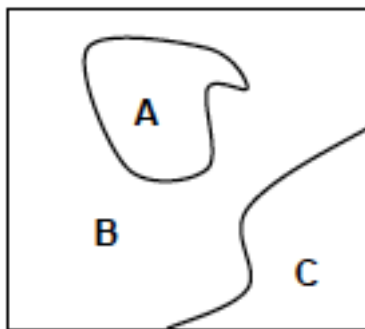


Figura 1.- Representación esquemática de un píxel con tres tipos de coberturas: A, B y C.

Los métodos de clasificación cuyo objeto es la estimación de la contribución de cada cobertura o elemento del paisaje a la respuesta espectral de cada píxel en la imagen se conocen como métodos de **clasificación subpíxel**. Estos métodos requieren un proceso previo de descomposición espectral y uno de los más extendidos es el de **análisis de mezclas espectrales**.

5 Método de análisis de mezclas espectrales

Se denomina *miembro puro* (*endmember*) a la respuesta espectral de un único elemento en el terreno, el que correspondería a una clase pura o ideal. Sin embargo, debido al ruido y a la variabilidad presente en las imágenes, un miembro puro es más bien una aproximación conceptual al problema.



En el análisis de mezclas espectrales pueden considerarse modelos de mezcla lineales o modelos no lineales. En un modelo lineal, la mezcla se aproxima a una combinación lineal de las respuestas espectrales independientes, semejante a la expresada en el ejemplo anterior. En ocasiones, los modelos lineales resultan aproximaciones aceptables de la realidad. La mezcla no lineal tiene lugar cuando hay una transmisión de la radiación a capas inferiores, como es el caso de la radiación infrarroja a través de la vegetación, por lo que la radiación reflejada en un punto del terreno proviene de varias capas en profundidad (varias capas de vegetación, suelo, ...); o cuando se dan fenómenos de reflexión múltiple, similares a los debidos a la dispersión volumétrica en las imágenes SAR. A continuación estudiaremos el modelo de mezcla lineal.

El origen de la mezcla espectral de firmas puede deberse a una integración espacial de diferentes objetos en el área representada por un píxel, o a una combinación o mezcla real de los objetos, como es el caso de las rocas, compuestas por distintos minerales, o de las soluciones acuáticas, por ejemplo.

La expresión matemática de la mezcla espectral lineal en que se descompone el valor de un píxel es la siguiente:

$$X_{ij} = E \cdot F_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

donde X_{ij} es el vector que representa los valores de un píxel genérico en las diferentes bandas espectrales, F_{ij} es el vector que representa las fracciones de los miembros puros y E la matriz que contiene las firmas de los miembros puros en las distintas bandas, la cual puede obtenerse a partir de los valores medios o extremos de muestras representativas de cada clase. ε_j representa el error residual en el ajuste debido al ruido. Desarrollando la expresión

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{11} & \cdots & e_{1L} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{k1} & \cdots & e_{kL} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_L \end{pmatrix}$$

donde L representa el número de miembros puros y k el número de bandas espectrales consideradas.

Suponiendo que se haya definido un número exhaustivo de miembros puros:

$$\sum_{l=1}^L f_l = 1$$

lo cual constituye una ecuación más cuando el número de bandas sea inferior al número de miembros puros o clases consideradas. La definición exhaustiva de miembros puros es difícil en la práctica, ya que nunca se tiene la certeza de haber

considerado todos los elementos que componen un determinado paisaje. También se puede incluir, como condición adicional, la limitación de que las fracciones sean positivas, $f_i \geq 0$.

En la práctica interesa la resolución del problema inverso, es decir, dados los valores espectrales de la imagen en las diferentes bandas, determinar las fracciones o proporciones de los miembros puros que le corresponden a cada píxel. De esta forma, si no se considera el término del error residual:

$$X_{ij} = E \cdot F_{ij} \Rightarrow F_{ij} = E^{-1} \cdot X_{ij}$$

Si el número de bandas espectrales, k , es mayor que el número de miembros puros considerados, L , el modelo queda sobredimensionado y la matriz de miembros puros no puede invertirse. En tal caso, se calcula su pseudoinversa, quedando:

$$F_{ij} = (E^T \cdot E)^{-1} \cdot E^T \cdot X_{ij}$$

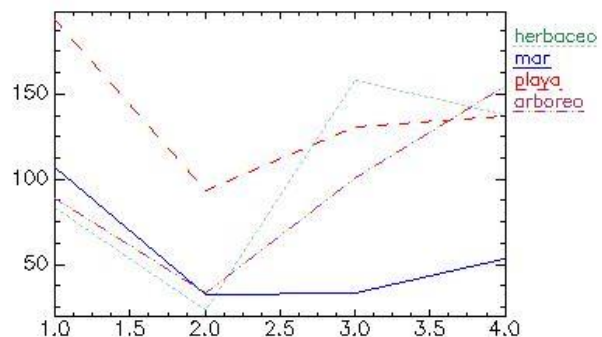
6 Ejemplo de aplicación

Consideremos un fragmento de imagen IRS LISS-III con cuatro bandas espectrales cuya combinación en falso color infrarrojo se representa en la figura 2a.

Si definimos los cuatro miembros puros o clases siguientes: *herbáceo* (vegetación herbácea de arrozales y pradera), *mar* (zona acuática del mar Mediterráneo próxima a la costa), *playa* (zona de arena y dunas), y *arbóreo* (pinares de densidad variable), y tomamos muestras representativas de cada una de ellas, se obtienen las firmas espectrales de la figura 2b (medias de las muestras).



a



b

Figura 2.- a) Combinación en falso color infrarrojo del fragmento de imagen original.
b) Firmas espectrales de los cuatro miembros puros considerados.



La matriz de las respuestas espectrales o firmas de los miembros puros en las distintas bandas, *E*, se recoge en la tabla 1. Como puede observarse, cada clase queda definida por una combinación de valores de reflectancia en las cuatro bandas espectrales. Así, las clases de vegetación tienen valores superiores en las bandas del infrarrojo (3 y 4) que en las del visible (1 y 2), por ejemplo.

BANDA	Herbáceo	Mar	Playa	Arbóreo
1	83,25	107,22	193,57	89,13
2	23,60	32,10	93,05	33,17
3	158,05	33,32	130,90	101,04
4	138,40	54,45	138,14	154,91

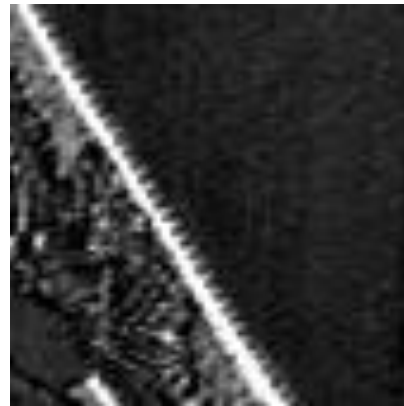
Tabla 1.- Matriz de los valores de intensidad, directamente relacionados con las respuestas espectrales, de los miembros puros (columnas) en las cuatro bandas del sensor LISS-III (filas).

Aplicando el método expuesto para la determinación de las fracciones de la mezcla espectral se obtienen, para cada píxel, los nuevos componentes o fracciones correspondientes a los cuatro miembros puros, cuyas representaciones en forma de imagen se muestran en la figura 3.

En este ejemplo y a partir de las muestras seleccionadas, las clases *herbáceo*, *mar* y *playa* han quedado bien definidas y resueltas mediante las fracciones calculadas, mientras que en la clase *arbóreo* existe un claro desajuste o error, probablemente ocasionado por la variabilidad de la misma (no es una clase tan *pura* como el resto) y por los fenómenos de reflexión múltiple o en profundidad propia de este tipo de clases con mezcla de sustratos arbóreos, herbáceos y suelo. Es de esperar que su determinación se mejorase empleando modelos más complejos de mezcla no lineal.



Mar



Playa



Herbáceo



Arbóreo

Figura 3.- Fracciones espectrales de los cuatro miembros puros considerados en el ejemplo.

7 Conclusiones

El método de mezclas espectrales resulta adecuado para definir la fracción de los elementos puros del paisaje que están representados en cada píxel. Para ello, es preciso tomar muestras de píxeles que contengan elementos puros, prácticamente sin mezclas.

Los métodos de análisis de mezclas espectrales pueden ser lineales o no lineales. Los primeros, más sencillos, no resultan eficientes cuando se trabaja en medios en los que la reflexión de la energía electromagnética no es directa, sino que



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

presentan fenómenos de dispersión en profundidad, como es el caso de masas forestales heterogéneas. Por su parte, los métodos no lineales son más complejos y difíciles de extrapolar.

El uso de esta técnica está indicado cuando resulta viable la identificación y selección bien definida de elementos puros del paisaje, por lo general en entornos acotados en los que el número de elementos no es muy grande, lo que complica su modelización.

8 Bibliografía

- Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing. Robert A. Schowengerdt. Academic Press, 1997.