XI Congreso Nacional de Teledetección, 21-23 septiembre 2005.
Puerto de la Cruz. Tenerife.

Determinación de la resolución espacial óptima en imágenes pancromáticas para su clasificación por texturas

Alfonso Fdez-Sarría, Jorge A. Recio y Luis A. Ruiz

Dpto. Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Universidad Politécnica de Valencia, Cno de Vera s/n, 46022, Valencia.
afernan@cgf.upv.es, jrecio@cgf.upv.es, laruiz@cgf.upv.es

Resumen

En las aplicaciones sobre el territorio a partir de información remota se suele plantear, entre otras, una cuestión importante en el esquema organizativo del trabajo: ¿cuál es la mejor resolución espacial para una aplicación y unos objetivos específicos? En la presente comunicación se pretende detallar los resultados obtenidos al aplicar sobre imágenes pancromáticas remuestreadas con resoluciones distintas una rutina de cálculo orientada a la obtención del mejor tamaño de píxel en una imagen.

Cada porción de la superficie terrestre presenta unos patrones distintos dependiendo de los objetos, sus tamaños, sus formas, etc. y para cada escala de trabajo esos patrones pueden cambiar. Es importante seleccionar el mejor tamaño de píxel para conseguir un cierto equilibrio entre definición espacial de los objetos y variabilidad espectral de los tipos de coberturas, ya que una resolución espacial alta no permite captar la textura de la superficie, mientras que un píxel demasiado grande hace disminuir la separabilidad espectral entre las clases y genera peores fiabilidades en una clasificación.

Mediante la determinación de la varianza local para una imagen se puede determinar a qué resolución se consigue maximizar dicha varianza para obtener los mejores resultados en tareas posteriores de cálculo de variables de textura, clasificación, etc.

1. Introducción

La disponibilidad de información geoespacial de cualquier parte del territorio puede, en determinados casos, llegar a ser importante, sea como cartografía analógica, digital, ortofotografías, ortoimágenes, modelos digitales del terreno, etc. y además pueden provenir de diversas fuentes, como distintas plataformas espaciales y sensores. A su vez, el abanico de posibles aplicaciones con objetivos variados experimenta cada vez un incremento considerable. Por todo ello, el responsable de un determinado proyecto que requiera el empleo de imágenes ráster, bien aéreas o de satélite, puede encontrarse en las primeras fases del organigrama de trabajo con la disyuntiva de qué fuentes de datos seleccionar en función no sólo de los objetivos buscados sino también de las diversas resoluciones posibles así como del presupuesto asignado para la adquisición de esos datos.

La escala de análisis de los datos cartográficos, entendida como 4 tipos posibles de escala (Cao y Lam, 1997), determina en gran medida el diseño de las rutinas de trabajo. Esas 4 escalas son: (a) la escala cartográfica en sí; (b) la escala geográfica u observacional que se refiere a la dimensión del área de trabajo; (c) la escala operacional, entendida como la escala a la que una cierta rutina opera en el terreno; y (d) la escala de medida o *resolución espacial*. La selección de estas escalas y resolución depende de la realidad de la escena, es decir, de la naturaleza de los objetos, sus formas, dimensiones, agrupaciones que pueden formar, etc. y de cómo varíen con el cambio de resolución. Por ello, un trabajo previo de análisis del entorno de trabajo, de los datos disponibles y de los objetivos buscados puede evitar tareas innecesarias, poco relevantes o incluso que generen resultados erróneos.

Uno de esos análisis previos es el denominado *estudio de la varianza local*, que nos permite definir el objetivo concreto de esta exposición de ideas: elegir, mediante el cálculo de la varianza local para imágenes pancromáticas a diferentes resoluciones y vecindarios, cuál es la resolución espacial que optimiza la clasificación de imágenes pancromáticas por texturas.

2. Datos de partida y áreas de trabajo

El presente estudio parte de los datos y algunas resultados de anteriores publicaciones (Fdez-Sarría et al., 2003, Ruiz et al., 2004) y pretende analizar las imágenes empleadas en las citadas referencias para contrastar la rutina de cálculo de la varianza local.

Los datos de partida consisten en una imagen pancromática Quickbird del área metropolitana de Valencia y de la comarca de L'Horta Nord, en la que existen unas tipologías de superficies bastante definidas (figura 1): áreas urbanas de edificación

desordenada, clase denominada "*núcleo antiguo*"; áreas urbanas de expansión urbanística planificada, clase "*ensanche*"; la clase "*urbanización con arbolado"* se refiere a áreas residenciales próximas a la ciudad con zonas forestales; "*polígono industrial*"; los "*cítricos*" son cultivos de naranjos; y la "*huerta*" se refiere a cultivos hortícolas sin arbolado y con alguna edificación dispersa.

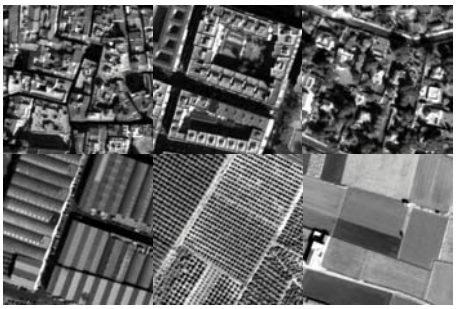

Figura 1: *Muestras de las clases analizadas. De izquierda a derecha y de arriba abajo: núcleo antiguo, ensanche, urbanización con arbolado, polígono industrial, cítricos y huerta.*

Las imágenes de la plataforma Quickbird en modo pancromático tienen una resolución espacial de 61 cm. y un rango de longitud de onda entre 445 y 900 nanómetros, con una resolución radiométrica de 11 bits por píxel. Esos 61 cm. permiten amplias posibilidades de aplicaciones si bien para el objetivo presente, puede no resultar la mejor resolución, ya que, según se puede deducir de las clases analizadas, existen objetos cuya caracterización espacial requiere un píxel de mayores dimensiones al presentar patrones de gran tamaño (clase *ensanche*, clase *urbanización*, etc.). Por ello se ha decidido tomar varias resoluciones para determinar cuál de ellas es la que mejor se adaptaría al conjunto de la imagen. Se ha trabajado con 0.61m, 1m, 2m, 3m, 4m, 5m, 6m, 7m, 8m, 9m y 10m.

Además de la imagen Quickbird se ha analizado otro tipo de imágenes, en concreto fotogramas aéreos escaneados a varias resoluciones y correspondientes a un área diferente como es la zona de Daimiel (Ciudad Real), de los que se compuso un mosaico sobre el que se identificaron 12 clases de superficies (Fdez-Sarría et al., 2003).

2.1. Método de la varianza local

La varianza local se define como el valor medio de la imagen de varianza calculada con un vecindario determinado desplazado sobre la totalidad de la imagen. La varianza de una imagen en un determinado vecindario se formula:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2 \qquad (1)$$

donde n es el número de elementos del vecindario.

En una imagen cuya resolución espacial sea alta, es decir, tamaño de los píxeles menor a las dimensiones de los objetos de la escena, la mayor parte de las medidas realizadas estarán claramente influenciadas y correlacionadas con sus vecinos y la varianza local será baja. Si aumentamos el tamaño del píxel hasta que se aproxime al de los objetos de la imagen, los valores tenderán a ser independientes de sus vecinos y la varianza local se incrementará. Si el tamaño del píxel se aumenta hasta superar las dimensiones de los elementos de la escena, varios de esos elementos conformarán cada píxel y la varianza local comenzará a decrecer. Por tanto, para determinar el mejor tamaño del píxel de la imagen debemos encontrar a qué resolución la imagen presenta una mayor varianza local, cuantificada como la media de la imagen de varianza.

El método propuesto por Cao y Lam, 1997, establece el cálculo de la varianza local en un vecindario de 3x3 píxeles. Este vecindario se muestra claramente pequeño para caracterizar la mayoría de las texturas, ya que empíricamente se ha demostrado que con ese vecindario las mejores varianzas locales se obtienen para píxeles de un tamaño superior a la media. Se han analizado vecindarios de cálculo de 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11, 13x13 y 25x25. Todos los cálculos para las distintas resoluciones y vecindarios han sido implementados en un programa en lenguaje IDL (fuente de la aplicación ENVI), obteniendo un archivo de resultados en formato ASCII.

Para contrastar si la mejor resolución espacial que nos indica la varianza local es la óptima, posteriormente se han realizado clasificaciones. Para ello se ha optado por el método de máxima probabilidad basado en la regla de decisión de Bayes, aplicado sobre la imagen original y las 8 variables de textura obtenidas de la matriz de coocurrencias de niveles de gris (MCNG). Los elementos de esta matriz *P(i,j)* representan las frecuencias relativas de los niveles de gris *i* y *j*, tomando los píxeles dos a dos y separados una determinada distancia *d* en una dirección dada. Cuanto mayores sean los valores de su diagonal principal más homogénea será la textura, mientras que cuanto más repartidos estén los valores fuera de la diagonal, más heterogénea será. De esta matriz se han obtenido, según el método propuesto por Haralick (1973), 8 variables estadísticas de segundo

orden que representan las propiedades texturales de una imagen y son: *uniformidad, correlación, contraste, media, entropía, varianza, momento producto* y *momento diferencia inverso*. El cálculo de estas variables se ha realizado con un vecindario de 25x25, ya que ha demostrado ser el vecindario que optimiza los resultados de la clasificación en esta zona de trabajo (Ruiz et al., 2004).

Para la clasificación mediante el método señalado se han tomado una serie de nuestras de aprendizaje para cada clase, lo suficientemente representativas pero lo más homogéneas posible, con las que se han obtenido las funciones de densidad de probabilidad y las funciones de decisión del método probabilístico. En el análisis a posteriori de la clasificación se han tomado otras porciones de la imagen, llamadas *muestras de test*, generando con ellas la matriz de confusión o matriz de errores.

3. Resultados

Para la imagen de Valencia se han obtenido los resultados del cálculo de la varianza local mostrados en la figura 2, en la que se refleja la media de la imagen de varianza generada para cada resolución y con cada vecindario.

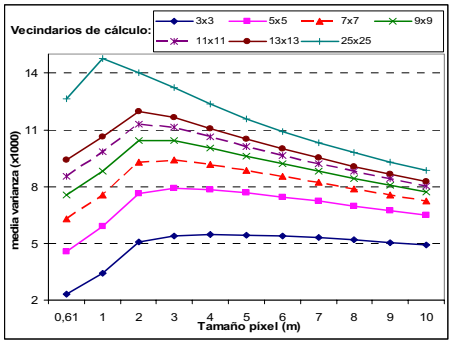

Figura 2: *Relación entre la varianza media y la resolución para diferentes tamaños de vecindarios.*

Se puede observar cómo los vecindarios menores generan valores de varianza más baja al considerar una menor variabilidad de las imágenes en entornos reducidos. Por el contrario, los mayores vecindarios presentan medias mas altas al verse influenciadas por la heterogeneidad de la imagen. Pero lo más importante es el hecho de que para cada vecindario hay una resolución a la que la media de la varianza es mayor. Esto se refleja en que a menor vecindario la resolución de mayor varianza es mayor, con vecindario de 3x3 se produce en 4 m, mientras que al aumentar la matriz de cálculo disminuye el tamaño del píxel hasta 1m. para 25x25.

De los resultados mostrados en la figura 2 se concluye que el rango de resoluciones aceptables para trabajar sobre esa imagen se mueve ente los 2 y 4 metros, ya que nos darían las mayores varianzas para unos vecindarios de cálculo normales, que no introduzcan demasiada variabilidad espacial (caso de 25x25) pero que analicen las texturas en su extensión.

El cálculo de la varianza no sólo se aplicó sobre la imagen entera sino también sobre mosaicos homogéneos generados con fragmentos de las diferentes texturas y representativos de cada clase. Los resultados de la figura 3 expresan la resolución espacial a la que, para cada mosaico, se ha obtenido la varianza máxima con cada vecindario.

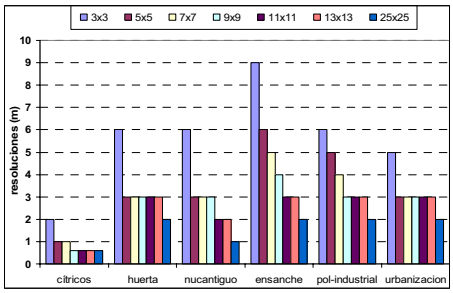

Figura 3*: Resoluciones a las que se obtienen las varianzas máximas para distintas texturas y vecindarios.*

Como se puede apreciar, el vecindario de 3x3 genera resoluciones un tanto anómalas debido a que un vecindario tan pequeño no permite caracterizar bien las texturas. Para el resto de tamaños y para las 6 clases las resoluciones más repetidas son las de 2 y 3 metros, definiéndose una tendencia clara de la misma resolución con vecindarios de 7x7 o incluso más pequeños, dependiendo de la textura.

Del análisis detallado de la imagen, se ha considerado la posibilidad de realizar dos clasificaciones, una con las 6 clases mencionadas y otra con 7 clases, en la que dentro de la clase *ensanche* se ha diferenciado entre la zona de *ensanche* propiamente dicha y otras áreas de una tipología constructiva más parecida a las zonas de viviendas adosadas sin vegetación intercalada (llamada *urbanización sin arbolado*), si bien la separabilidad entre ellas es baja.

Tras clasificar la imagen junto a sus 8 variables de textura calculadas, tanto con 6 clases como con 7 clases, se han obtenido unos resultados en forma de fiabilidades globales de la clasificación reflejados

en la figura 4. Se puede apreciar que en la clasificación con 7 clases se consiguen las mejores fiabilidades para los píxeles de 2, 3 y 4 metros, mientras que para la de 6 clases, es a partir de 2 metros cuando se obtienen las mejores fiabilidades que permanecen bastante homogéneas (sobre el 80%) casi para cualquier resolución. Así pues, las mejores clasificaciones tienen lugar a resoluciones similares a las que se obtienen las varianzas máximas (figuras 2 y 3) y además nos permite afirmar que resoluciones menores a 2m. se pueden considerar demasiado bajas para nuestros objetivos.

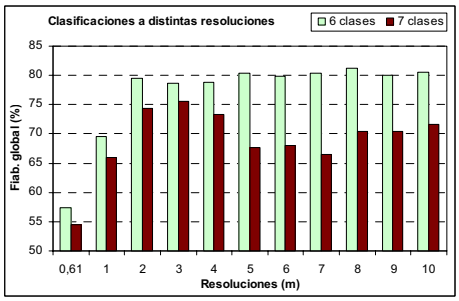

Figura 4: *Fiabilidades globales de las dos clasificaciones para cada tamaño de píxel.*

Por lo que respecta a las fiabilidades de productor y usuario, en las dos clasificaciones (con 6 ó 7 clases) se aprecian unos resultados similares sobre qué resolución genera fiabilidades mayores para cada clase, siendo de nuevo los píxeles de entre 2 y 4 metros los que mejores resultados proporcionan. Sobre las clases individualmente se observa que hay algunas excepciones, como *ensanche* y *urbanización arbolado* que presentan unas fiabilidades de productor y usuario mayores con píxeles de 8m. y 9m. respectivamente.

Para la otra imagen considerada (mosaico de fotogramas aéreos de Daimiel), se ha obtenido que la mejor resolución espacial es de 3m. En Fdez-Sarría et al., (2003) se clasificaron, con un total de 12 clases, las 8 variables de textura de la MCNG calculadas con un vecindario de 21x21 a dos resoluciones, 0.60m. y 2m. Se ha completado la clasificación con la resolución obtenida de la mejor varianza local (3m.) y los resultados obtenidos son los de la tabla 1, donde se aprecia como la mejor fiabilidad global se alcanza a la resolución que maximiza la varianza local.

Analizando una subimagen de este mosaico con áreas urbanas céntricas exclusivamente, la varianza local máxima se produce a resoluciones de entre 2 y 4 metros, dependiendo del vecindario de cálculo, de forma similar a lo ocurre con la clase *núcleo urbano* de la imagen Quickbird de Valencia (ver figura 3).

Tabla 1: *Fiabilidades para clasificaciones a distintas resoluciones espaciales*

Resolución (m)	Fiabilidad global
0.60	74.36%
2	81.77%
3	82.62%

4. Conclusiones

Como conclusión principal se puede destacar que el cálculo de varianza local con anterioridad a otras tareas con imágenes digitales, bien aéreas o bien de satélite, puede ayudarnos a enfocar mejor el diseño, programación y obtención de resultados, siendo evidente la relación entre la mayor varianza local media en una imagen y los resultados esperados de una clasificación.

El cálculo de la resolución que genera la varianza máxima, según el método propuesto, es útil y fiable para definir la resolución óptima en una clasificación por texturas y debería considerarse como una fase previa de cualquier proyecto que trabaje con imágenes digitales del territorio.

5. Referencias

[1] Cao, Changyong y Siu-Ngan Lam, Nina, "Understanding the scale and resolution effects in remote sensing and GIS", *Scale in remote sensing and GIS*, CRC Press, 1997.

[2] Fdez. Sarría, A., Recio Recio, J.A., Ruiz Fernández, L.A. "Análisis de imágenes mediante texturas: aplicación a la clasificación de unidades de vegetación" *Geofocus*, 1, 143-159, 2003.

[3] Ruiz, L.A., Fdez-Sarría, A., Recio, J.A. "Texture feature extraction for classification of remote sensing data using wavelet decomposition: a comparative study", *ISPRS,* 1109-1205, 2004.

[4] Haralick, R.M., K Shanmugan y Dinstein. "Texture features for image classification". *IEEE Transactions on Systems, Man and Cibernetics*. SMC-3: pp. 610-622. 1973.

6. Agradecimientos

Los presente resultados se enmarcan en los proyectos del Ministerio de Ciencia y Tecnología REN2003-04998 y BTE2002-04552 y en el proyecto coordinado de la Universidad Politécnica de Valencia 2004-0921.