

## RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE FORMAS EN IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

S. FERNANDEZ, M. A. HERRERO, V. MORENO E I. MARTINEZ DE SOLA.  
INISEL ESPACIO. Madrid

### RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados obtenidos hasta el momento dentro de un proyecto de investigación orientado a analizar las posibilidades del reconocimiento automático de formas en imágenes de teledetección. Se describe aquí fundamentalmente los algoritmos y procesos desarrollados con el objeto de obtener formas u objetos lineales en imágenes digitales procedentes de radares de apertura sintética (SAR). El hecho de habernos centrado en las formas lineales es porque el fin último de este trabajo es encuadrarlo dentro de una línea de investigación más amplia consistente en la actualización de bases de datos cartográficos de forma automática o semiautomática. Así analizaremos en una primera fase la problemática que presentan las imágenes SAR para pasar posteriormente a describir los algoritmos de detección de formas lineales. También resaltar que este trabajo está encuadrado dentro de los proyectos de I+D del Plan Nacional de Espacio soportado por el CDTI y el MINER.

### ABSTRACT

*In this work, we present the algorithms which have been implemented in order to automatic detection of objects in SAR imagery. We show that is necessary to reduce the "speckle noise phenomenon" as first step to exploit a SAR image. After we show the algorithm to detail and extract objects, this is edge-oriented and is realized the extraction of linear objects (boundaries and lines).*

### 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas para centros que su principal actividad es el manejo de mapas o elementos cartográficos es el poder revisar y actualizar los mapas ya confeccionados con el fin de poder dar un buen servicio a las diferentes actividades de estos mapas.

Tradicionalmente el emprender y llevar a término una tarea de revisión y actualización de una cartografía (mapas) era una inversión de varios años y utilización de gran cantidad de recursos, la cual en la mayoría de los casos distaba mucho de llegar a tener la utilidad que cuando se emprendía la revisión que se había fijado como objetivo.

Desde el primer lanzamiento de los primeros satélites de recursos naturales, se ha intentado usar las imágenes digitales tomadas por estos satélites para producir y revisar mapas y cartografías. En muchos casos, los mapas han sido revisados por interpretación visual de las imágenes originales, sin embargo, se ha puesto de manifiesto la necesidad de buscar métodos rápidos de interpretación de imágenes con el fin de reducir el ciclo de revisión.

Los recientes desarrollos en proceso de imágenes digitales y reconocimiento de formas, unidos a los S.I.G. han traído

como consecuencia el poder pensar en automatizar estos procesos de revisión.

Así, el objeto que se describe en este trabajo es desarrollar algoritmos capaces de discriminar de manera automática objetos lineales en imágenes digitales tomadas por radares de apertura sintética (SAR) a bordo de satélites o/y avión.

La información contenida en una imagen SAR es complementaria de la que contienen aquellas imágenes que provienen de un sensor óptico. Dado que el SAR es un sistema activo este es capaz de iluminar los objetos o las áreas de interés bajo diferentes ángulos, varias polarizaciones y con longitudes de ondas seleccionadas con anterioridad. La amplitud de la radiación dispersada depende básicamente de la rugosidad de la incidencia, de la longitud de onda y de la constante dieléctrica afectada por las propiedades físicas de los objetos.

Aunque las imágenes SAR muestran un gran detalle de la superficie observada vienen sin embargo afectados por un efecto llamado "speckle" similar a un moteado sobre la imagen digital.

El speckle resulta de crear la imagen radar mediante una radiación coherente. Las celdas de mínima resolución espacial que constituyen la imagen del radar, no son absoluta-

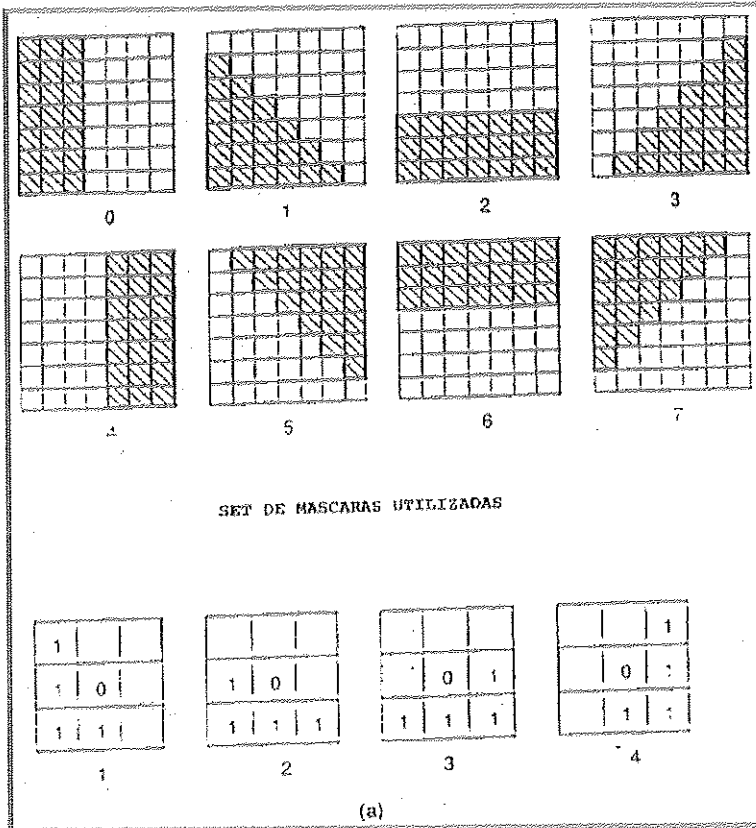


Figura 1.

mente lisas sino que éstas a su vez están constituidas por elementos individuales que producen ecos de la señal individual, estos ecos pueden interferir entre ellos de forma destructiva o constructiva. Dependiendo de la estructura en la superficie del elemento y de la localización exacta de la antena del radar, podemos tener un eco en la antena que es modificado por las interferencias de los elementos que componen la celda de mínima resolución espacial.

Estas interferencias cuando son constructivas dan lugar a un fuerte aumento de la señal y en el caso de las interferencias destructivas a una fuerte pérdida de señal (moteado blanco y oscuro). En general deberemos interpretar el speckle como un efecto de ruido aleatorio y multiplicativo.

## 2. REDUCCIÓN DEL SPECKLE EN IMÁGENES SAR

Aunque como ya se ha dicho en los apartados anteriores las imágenes SAR ofrecen ventajas sobre las captadas por sensores ópticos, estas tienen o sufren la presencia de un ruido llamado speckle el cual es inherente a la naturaleza coherente de la señal que genera la imagen SAR.

Existen en la literatura varios filtros para reducir el ruido de speckle. Alguno de ellos son heurísticos y otros son pro-

cedimientos formales que tienen en cuenta las características estadísticas de este ruido. Aquí en este trabajo hemos utilizado el llamado "Filtro Geométrico".

Está basado en la operación de intersección o no intersección de la morfología matemática. Hemos hecho varias suposiciones:

- Todo el ruido de speckle no es superior a 3 píxeles respecto a un punto. Esto trae como consecuencia que detalles de 3 píxeles o más pequeños serán eliminados.
- El campo imagen es estacionario.
- El ruido y la imagen no están correlacionados, dado que el ruido de speckle generado es independiente para cada píxel.

La transformación morfológica de intersección y no intersección se define (Pratt, 1991) como: se construye una máscara binaria sobre una ventana dada, en nuestro caso hemos escogido una máscara de 3x3 (Figura 1). Se considera un perfil sobre una de las cuatro principales direcciones del código de Freeman, el área bajo la curva de dicho perfil se la llama sombra (Figuras 2 y 3) al que se le asigna un valor de uno y al resto de cero, sobre una malla digital.

De esta manera se recorre el perfil con cada una de las ocho ventanas de 3x3 sobre las cuales se diseñó la máscara

de unos y ceros. Cada vez que el patrón de la máscara coincide (sobre la ventana) con los valores de la zona de sombra y su complemento, el valor de píxel central de la ventana es cambiado de cero a uno. El proceso de repite sobre el complemento de la zona de sombra y sobre todos los perfiles de las cuatro direcciones definidas, todo ello constituye una iteración del filtro geométrico. Normalmente se requieren varias iteraciones para así poder reducir el "speckle" a un nivel adecuado. Se define un criterio cuantitativo para determinar el fin del algoritmo, a este criterio se le denomina "índice del speckle".

Suponemos que una cierta región homogénea dentro de la imagen contiene o representa un solo objeto. Esta área o región tendrá por lo tanto asociados un valor medio y una desviación estándar. Cuando el valor del speckle es reducido la consecuencia será que el valor de la desviación estándar será bajo, por lo tanto la relación  $S_1 / \sigma$  es un indicador de alisamiento o uniformidad de un área o región, si  $S_1 = 0$  significa que el área es plana y ésta será máxima para un área de una imagen sin filtrar. Entonces calcularemos  $S_1$  para cada iteración y éste variaría con cada una de ella, diremos que hemos finalizado cuando el valor de  $S_1$  llegue a un valor menor que un umbral que hayamos fijado de antemano. Hemos comprobado que para una ventana 3x3 con una  $S_1$  me-

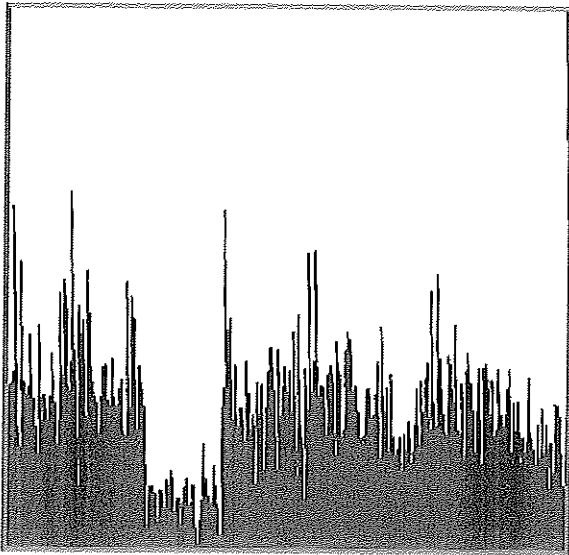


Figura 2.- Representación gráfica del perfil de una línea imagen con ruido de speckle.

nor de 0,05 es suficiente para finalizar el proceso.

Una vez que en la imagen SAR se ha reducido el valor del speckle, estamos en disposición de someter a la imagen SAR a los algoritmos o procesos de reconocimiento de formas lineales. Todo este proceso de reducción del speckle podemos considerarlo como preproceso de una imagen SAR. En ellos como hemos mencionado anteriormente se habrá reducido el ruido pero se habrá conservado a su vez información suficiente para poder detectar "bordes" que en definitiva van a influir en el reconocimiento de las formas lineales de la imagen SAR.

### 3. RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE FORMAS

Una vez reducido el speckle en las imágenes SAR pasamos al proceso propiamente dicho del reconocimiento de formas en las imágenes.

El algoritmo consta de tres partes bien definidas:

- Detección de bordes.
- Proceso de afinado de los bordes.
- Obtención de segmentos a partir de los elementos de borde.

En primer lugar definiremos qué entendemos por borde en el caso de imágenes representadas en escala de grises homogénea que es el que aquí tratamos.

Borde es la frontera entre dos regiones con nivel de gris constante diferente.

Para cada punto de la imagen examinando las características de su entorno decidiremos si ese punto puede ser considerado borde o no.

Sin embargo los segmentos son algo más que un conjunto de puntos inconexos, en un segmento cada punto siempre

determina cual es el siguiente que pertenece al segmento.

Es importante considerar la cantidad de ruido que contienen las imágenes de radar ya que el ruido distorsiona en gran medida el proceso de obtención de objetos.

Existen en la literatura numerosas referencias a métodos de segmentación para extracción de objetos. El problema de identificación de los mismos no ha sido tan frecuentemente tratado, siendo en general referido a objetos específicos y simples.

En una primera aproximación al problema se ha decidido orientar el trabajo hacia la detección de objetos lineales, por ser los más visibles en imágenes de teledetección y constituir elementos típicos de la cartografía.

Por esta razón el sistema incorporará un método de extracción de objetos lineales basado en operaciones de gradiente y vectorización.

Esta última característica es fundamental para permitir una representación común de datos con respecto a un sistema de cartografía digital. Se describen a continuación los métodos a utilizar para el reconocimiento de objetos lineales.

#### 3.1. Detección de umbral.

Se trata de identificar un umbral a partir del histograma, de tal forma que los píxeles que estén a un lado del umbral pertenecen al objeto buscado y los del otro lado no.

Es poco práctico para imágenes con muchos objetos diferentes y donde la gama de grises está muy repartida y por lo tanto el histograma no nos da mucha información sobre la imagen.

Por otro lado nuestro objetivo es identificar objetos en escenas naturales, sobre las cuales este tipo de algoritmos no son válidos, ya que se basan en imágenes que contienen objetos sobre un fondo de gris constante, muchas veces conocido. Estos algoritmos tienen aplicación sobre todo en robótica.

#### 3.2. Gradiente.

Se trata de un operador que detecta bordes horizontales y verticales pero que sin embargo es muy sensible al ruido y a las irregularidades de las superficies. El operador se puede mejorar aumentando la vecindad de puntos sobre los que se aplica.

#### 3.3. Diferenciación direccional.

Consiste en aplicar diferentes operadores derivativos que detectan bordes cada uno en una dirección diferente. Cada operador consiste en realizar la convolución con una máscara. El tipo de máscara que se puede utilizar varía dependiendo del tipo de imagen sobre la que se vaya a aplicar.

Si se usan máscaras de una dimensión pequeña el proceso es más sensible al ruido pero sin embargo es capaz de detectar variaciones más pequeñas de los niveles de gris.

Por otro lado si las máscaras utilizadas son más grandes necesitamos más tiempo de cálculo, el proceso se hace menos sensible al ruido pero tiene el problema de que se pier-

den los bordes en los que la diferencia del nivel de gris sea pequeña. Lo más normal es usar máscaras de dimensión 3x3 ó 5x5.

El otro parámetro que debemos elegir es el número de máscaras que vamos a utilizar, cada máscara detecta bordes en una dirección determinada. Cuantas más máscaras tengamos detectaremos bordes en más direcciones, pero aumenta bastante el tiempo necesario para realizar la convolución con las máscaras.

### 3.4. Definición del algoritmo de obtención de bordes.

Utilizaremos un algoritmo de diferenciación direccional que utiliza 6 máscaras de 5x5, se considera que la dimensión de las máscaras es suficiente para promediar el ruido de las imágenes SAR, si la relación señal/ruido es muy baja tienen mucho ruido se las someterá antes a algún proceso de eliminación de ruido.

Cada máscara detecta variaciones significativas del nivel de gris en una dirección diferente, se ha tomado un incremento de 30 grados entre una máscara y la siguiente.

Las máscaras utilizadas son las siguientes:

static int máscaras [6] [5] [5] = {				
-100,	-100,	0,	100,	100,
-100,	-100,	0,	100,	100,
-100,	-100,	0,	100,	100,
-100,	-100,	0,	100,	100,
-100,	-100,	0,	100,	100,
-100,	32,	100,	100,	100,
-100,	-78,	92,	100,	100,
-100,	-100,	0,	100,	100,
-100,	-100,	-92,	78,	100,
-100,	-100,	-100,	-32,	100,
100,	100,	100,	100,	100,
-32,	78,	100,	100,	100,
-100,	-92,	0,	92,	100,
-100,	-100,	-100,	-78,	32,
-100,	-100,	-100,	100,	100,
100,	100,	100,	100,	100,
100,	100,	100,	100,	100,
0,	0,	0,	0,	0,
-100,	-100,	-100,	-100,	-100,
-100,	-100,	-100,	-100,	-100,
100,	100,	100,	100,	100,
100,	100,	100,	78,	-32,
100,	92,	0,	-92,	-100,
32,	-78,	-100,	-100,	-100,
-100,	-100,	-100,	-100,	-100,
100,	100,	100,	32,	-100,
100,	100,	92,	-78,	-100,
100,	100,	0,	-100,	-100,
100,	78,	-92,	-100,	-100,
100,	32,	-100,	-100,	-100,

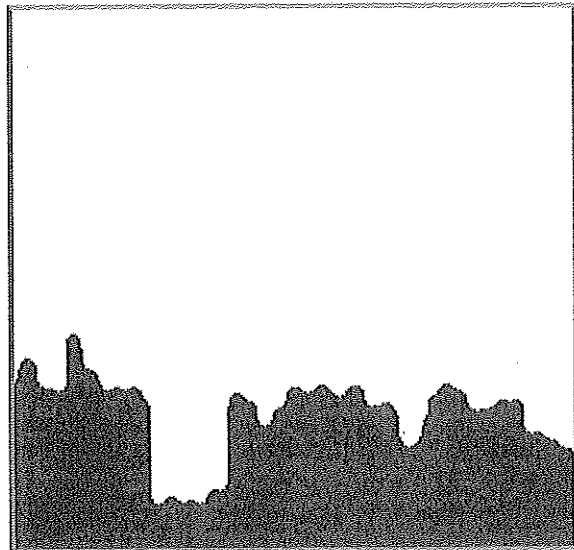


Figura 3.- Representación gráfica del perfil de una línea imagen después de la aplicación del filtro geométrico.

El algoritmo consiste en calcular la convolución de la imagen con las seis máscaras y en cada punto quedarse con el mayor valor de convolución producido por las seis máscaras, también se almacena la dirección de la máscara que ha producido ese valor.

El resultado será una matriz de magnitudes de la convolución y otra matriz con la dirección del borde detectado en ese punto.

Hay que comentar que para cada píxel almacenamos el valor máximo de los seis valores de haber hecho la convolución con las seis máscaras.

El valor absoluto lo almacenamos en magnitud, el signo lo almacenamos en sentido y por último en dirección almacenamos el número que representa la máscara que ha producido la máxima magnitud.

### 3.5. Algoritmo de afinamiento de los bordes detectados.

En una primera aproximación, para ver el resultado de la convolución, podemos considerar bordes todos aquellos puntos cuya magnitud de convolución sobrepase un determinado umbral, que pueda ser variado interactivamente para poder estudiar como afecta a la obtención de segmentos.

Con el afinamiento se pretende que los bordes detectados en el proceso anterior que tienen un grosor bastante apreciable convertirlos en bordes de grosor uno.

El algoritmo implementado para realizar la fase de afinamiento considera borde a un punto si aparte de sobrepasar el umbral cumple simultáneamente las siguientes condiciones:

- La magnitud de borde es mayor que la de los dos vecinos en la dirección normal a la de este píxel.
- Las direcciones de los vecinos no difieren en más de

treinta grados con respecto a la dirección del píxel.

Si el píxel cumple simultáneamente estas condiciones los vecinos quedan descartados para ser bordes.

Si no se cumplen estas condiciones el punto es descartado para ser borde.

Llegado a este punto tendremos una matriz que indica si un punto es borde o no y otra matriz con las direcciones de los puntos que son borde.

### 3.6. Algoritmo para la obtención de segmentos a partir de los bordes.

Hasta ahora lo que tenemos es un conjunto de puntos inconexos que sabemos que son bordes. En el siguiente paso se trata de conectar estos puntos para formar segmentos. Esto nos dará la facilidad de poder recorrer todo un segmento a partir de un punto cualquiera del mismo.

Para conseguir esto calcularemos una matriz de sucesores y predecesores que indica para cada elemento de borde la posición del siguiente elemento de borde si lo hay, y del anterior, respectivamente.

La matriz de sucesores y predecesores se calculará asignando a cada píxel un sentido de borde además de una dirección. Se le asigna sentido negativo en caso de que el resultado de la convolución sea negativo y positivo en caso contrario.

Con las máscaras utilizadas se cubren seis direcciones posibles (0, 30, 60, 90, 120, 150). Donde el sentido para 0 grados es el de un vector apuntando de abajo hacia arriba, y los siguientes el de este vector girando en sentido contrario a las agujas del reloj. Para 180 (sentido opuesto a 0 grados) corresponde al sentido de arriba hacia abajo y se produce cuando la intensidad del borde es negativa. Los siguientes hasta 330 grados corresponden al resultado negativo de la convolución para las otras máscaras.

De esta forma es posible seguir un borde que empieza en un sentido va cambiando de dirección y vuelve en sentido contrario.

Para el cálculo de la matriz de sucesores y predecesores

se tienen en cuenta:

- La relación sucesor predecesor es simétrica, por lo que se aplican las mismas reglas.
- Los píxeles normales a la dirección del borde han sido descartados como constituyentes de borde en el proceso de afinamiento. Por lo tanto cada píxel tiene a lo sumo tres sucesores y tres predecesores.
- Las configuraciones posibles se deducen de tres posibles (0, 30, 60), el resto son equivalentes por rotación. Los posibles sucesores y predecesores son los mismos, ya que la dirección normal en ambos casos es la misma.
- Para los diferentes ángulos, los casos posibles son los siguientes, no considerándose el caso de un sólo sucesor (predecesor) por ser trivial. Cabe aclarar que el elemento sucesor se deberá buscar solamente entre los tres vecinos que estén en el sentido que apunta el vector.
- De los tres vecinos se considera sucesor (predecesor) el que está a menos distancia. Esto quiere decir que se busca primero en los lados y después en las esquinas de la vecindad.

Los objetos lineales (segmentos) extraídos de la imagen serán utilizados para establecer la correspondencia con un modelo generado a partir de un mapa, digitalizando las coordenadas extremas de los segmentos que se aproximen a los elementos lineales de la carta o mapa.

Todos los pasos a seguir de este proceso son objeto de otro trabajo presentado en esta misma Reunión denominada: "Actualización Cartográfica a partir de Imágenes Digitales".

El objeto de la presente comunicación ha sido mostrar el trabajo realizado hasta la fecha y la descripción de los algoritmos utilizados. Estos necesitan un proceso de depuración en cuanto a utilizarlo con un conjunto de imágenes más amplio y de procedencia variada (satélite y/o avión), ya que, de esta forma estaremos en disposición de poder hacer un uso óptimo de sus posibilidades.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- ✓ LEBERL, F.W. (1990): *Radargrametric Image Processing*. Ed. Artech House.
- ✓ *Automatisation de Traitements D'images: Application au Calcul de Parametres Physiques en Teledeteccion*. 1987. These de Doctorat, Unviersite de Nice, Noviembre.
- ✓ Road finding for roda-network extraction. (1988). *Proc. of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. An Arbor, Z.
- ✓ *Image Interpretation by Distributive Cooperative Processes*. 1988.
- ✓ D.M. MC KEOWN, J.L. (1988): Cooperative Methods for Road Tracking in Aerial Imagery. *Proc. of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* Denliger.
- ✓ Using Expert Systems for Image Understanding (1987): *Int. Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*.
- ✓ Experiments and Evaluation of Rule-based Methods in Image Analysis (1988). *Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition An Arbor*.
- ✓ "Study of Advance Signal Reconstruction Techniques" ESA/ESTEC N° 8072/88/NL/PP (SC) SECTION 1 - Speckle Reduction Techniques for SAR Images.
- ✓ G. MEDIONI, R. (1984): "Matching Images Using Linear Features" *Nevatia IEEE Trans. on Pami*, Nr. 6, Nov. 84, pp 675-685
- ✓ NEVATIA, R. & BABU R.R. (1980): "Linear Feature Extraction and Description". *Computer Graphics and Image Processing* - Vol. 13, pp 257-269.