

Estudio de campos de golf mediante técnicas de segmentación

N. Pineda¹, J. J.¹, L. Garrido², P. Salembier²

Correo electrónico: npineda@fa.upc.es

¹ Departamento de Física Aplicada, EUPM-Manresa, Universitat Politècnica de Catalunya

² Departamento de Teoría del Señal y Comunicación, Universitat Politècnica de Catalunya

RESUMEN

Se ha aplicado con éxito a imágenes LANDSAT-7 ETM un algoritmo de segmentación, en principio diseñado para imágenes de vídeo, en la delimitación de 17 campos de golf construidos en Cataluña en la década de los 90. Utilizando mapas de usos del suelo, se ha cuantificado el tipo de uso anterior a su construcción. Del total de las 780 Ha que ocupan esos campos de golf, el 49% era de uso agrícola, básicamente cultivos herbáceos, mientras que el 51% era de uso forestal, donde 170 Ha eran bosque y el resto básicamente matorral.

PALABRAS CLAVE: segmentación, LANDSAT-7 ETM, campos de golf.

ABSTRACT

A segmentation algorithm, firstly designed for video images, was used with good results for the segmentation and delimitation of golf courses in LANDSAT-7 ETM images. Using land-cover maps, the surface of the previous land covers of 17 golf courses constructed in Catalonia in the 90's were calculated. From the 780 Ha of the total surface, 49% had previously agricultural uses, mainly herbaceous crops. The other 51% had a forestry land cover, 170 Ha were woods and the rest were mainly shrublands.

KEY WORDS: segmentation, LANDSAT-7 ETM, Golf Courses.

JUSTIFICACIÓN

Este estudio se enmarca dentro de la evaluación socio-ambiental de la práctica del golf en Cataluña, realizada por *Estudi Ramon Folch-Gestió i Comunicació Ambiental S.L* para la Federación Catalana de Golf. Dentro de esta evaluación multidisciplinar, los autores han hecho un estudio con técnicas de teledetección y SIG de los campos de golf construidos en la década de los 90, para establecer sus dimensiones y los usos anteriores del suelo en el que ahora son los campos de golf. Los resultados de esta parte del estudio se han requerido para complementar el trabajo de campo y las encuestas realizadas.

OBJETIVOS

El objetivo del estudio ha sido determinar la superficie ocupada por los campos de golf, a través de la delimitación de sus contornos con técnicas de segmentación en imágenes LANDSAT 7-ETM, así

como la determinación de los usos del suelo anteriores al golf mediante los mapas de años anteriores a la construcción.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de segmentación de imágenes se usan en teledetección para la detección de contornos y la delimitación de objetos o áreas que presentan cierta homogeneidad interna.

Los algoritmos de segmentación, aunque desarrollados normalmente en un campo específico del tratamiento de la imagen, resultan ser útiles en otros campos. Por ejemplo, el algoritmo de "watershed" (Vincent y Soille 1991) ha sido usado con buenos resultados en el campo industrial, en medicina y en teledetección (Li *et al.* 1999). En nuestro caso, se ha probado en imágenes de LANDSAT-7 ETM un algoritmo inicialmente desarrollado para la segmentación de secuencias de imagen de vídeo para los estándares MPEG-4 y MPEG-7 (Garrido y Salembier 1998).

MATERIALES

Imágenes LANDSAT

La detección de contornos se ha realizado a partir de dos imágenes LANDSAT 7-ETM, que cubren casi toda Cataluña: 197/31 (path/row) de 09/09/1999 y 198/31 de 12/12/2000. Se han usado también una serie de imágenes LANDSAT 5-TM (1984, 1988, 1991), para la verificación de los usos del suelo anteriores a los campos.

Se ha trabajado con una lista de 17 campos de golf inaugurados entre 1987 y 1999 en Cataluña. En este estudio la delimitación de los campos se ha basado en la fracción de cobertura herbácea de los campos (léase *Tee*, *Calle (Fairway)* y *Green*) incluyendo estas lindes estructuras pequeñas como *bunkers* de arena o estructuras vegetales de separación entre calles (*rough*) que no pueden ser detectadas teniendo en cuenta la resolución espacial del píxel de LANDSAT-TM (30 metros de lado).

Mapa de usos del suelo (MUS)

Se ha dispuesto de la versión digital de los mapas de usos del suelo del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya de los años 1987 y 1992. Los mapas están disponibles en la *web*:

<http://www.gencat.es/mediamb/sig/sig.htm>

Los mapas de usos del suelo son clasificaciones generadas a partir de imágenes LANDSAT-TM con una leyenda de 22 clases. Los resultados se han calculado para esas clases, y para una agrupación de las clases afectadas en 2 usos genéricos, para tener también unos resultados más generales. La agrupación es la siguiente:

- **Agrícola:** Cultivos herbáceos de secano; cultivos herbáceos de regadío; frutales de secano; frutales de regadío y viña.
- **Forestal:** Matorral y prados; bosques de aciculifolias; bosques de esclerófilas; bosques de

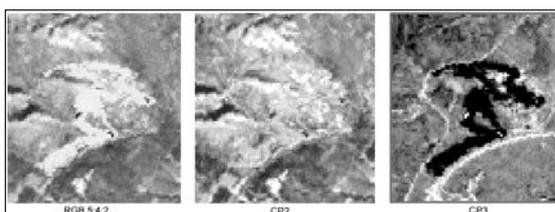


Figura 1. Composición RGB 542 (izquierda), PC-1 (centro) y PC-3 (derecha).

caducifolias; vegetación de zonas húmedas y suelo con vegetación escasa o nula.

Software

Se ha usado ENVI v.3.4. (Research Systems, Inc.) en el tratamiento previo de las imágenes. Para la delimitación de los campos de golf se ha aplicado un algoritmo automático de segmentación (Garrido y Salembier 1998); implementado en lenguaje C.

METODOLOGÍA

Tratamientos previos de las imágenes

Para cada campo de golf se ha recortado una imagen de trabajo, de 200 píxeles de lado, una vez las imágenes han sido corregidas geométricamente (RMS inferiores al tamaño de píxel).

Componentes Principales

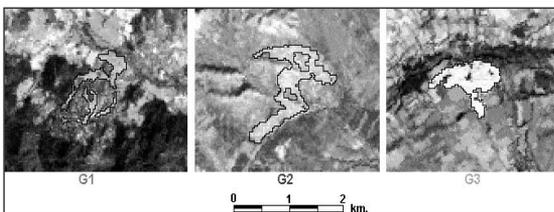
El algoritmo de segmentación usado trabaja con una sola imagen byte de niveles de gris (0-255). Para obtenerla se ha usado la transformación de Componentes Principales (CP) de las 6 bandas originales del sensor. Se ha hecho un análisis visual de las 3 primeras CP para ver cual de ellas refleja mejor los contornos de los campos. Se ha observado que normalmente la CP-1 refleja cambios entre coberturas muy contrastadas, mientras que la CP-2 refleja cambios más suaves como son los cambios en la cobertura vegetal. Cabe decir que la transformación es diferente para cada imagen y que depende de la variabilidad general de la misma, y por eso no siempre los contornos del golf se reflejan en su máxima intensidad en la misma CP. En la mayoría de casos se ha usado la CP-2, pero en otros se ha usado la CP-1 o incluso la CP-3 como en el caso de la Figura 1.

Por otro lado se han hecho pruebas de segmentación directa de la banda pancromática que incluye LANDSAT-7 ETM, pero aunque la resolución espacial (15 metros) es mejor que en las bandas tradicionales, los resultados han sido peores que con la CP elegida. La falta de información de la zona del infrarojo próximo en la pancromática hace que los contrastes entre diferentes coberturas vegetales sean menores en la pancromática y en muchos casos la cobertura típica del golf no se diferencia bien de coberturas vegetales adyacentes.

Segmentación

A partir de un primer análisis visual de los campos de golf estudiados, se establecieron tres tipos básicos, para hacer pruebas de segmentación y establecer un criterio de terminación del algoritmo de segmentación. Esos campos tipo son los siguientes (Figura 2):

- G1: campo discontinuo y lineal, las calles están separadas entre sí.
- G2: campo intermedio, con zonas compactas y zonas lineales.
- G3: campo compacto, donde las calles se tocan y no se pueden separar en las imágenes.



* **Figura 2.** Tipos de campo de golf: G1 (izquierda), G2 (centro) y G3 (derecha).

El algoritmo de segmentación fusiona de forma iterativa facetas (regiones con características similares) hasta que se cumple el criterio de terminación definido por el usuario. Al principio, el algoritmo considera que cada píxel de la imagen es una faceta diferente. A cada paso de fusión, se busca el par de facetas con el mayor grado de similitud (según su ND), se procede a fusionar ambas facetas y se representa la unión con la media del ND de las dos. Al final de cada iteración, se calcula el número de facetas y la relación señal a ruido expresada en decibelios (Peak Signal to Noise Ratio: PSNR) entre la imagen original y la imagen de facetas. Ambos parámetros sirven para controlar el criterio de terminación, es decir, para determinar cuando parar el algoritmo de fusión, eligiéndose el que más convenga.

En la Figura 3 se puede ver la relación entre los dos parámetros de terminación para los 3 tipos de campo de golf. Al disminuir el número de facetas, disminuye la homogeneidad interior de las mismas, pero también disminuye la complejidad de la imagen de facetas, simplificándose la imagen resultado.

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color.

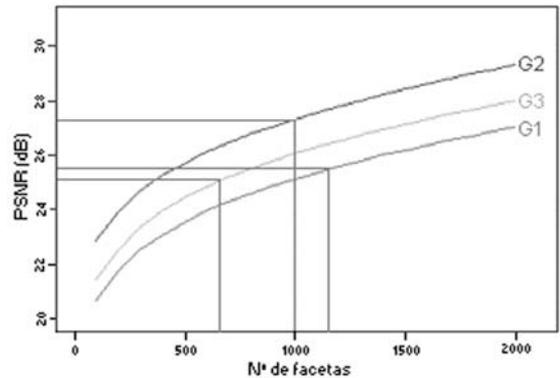


Figura 3. Relación entre número de facetas y PSNR (dB) para los tres tipos de campo (G1, G2, G3).

Pruebas de Terminación

Siendo nuestro objetivo el determinar el contorno del campo de golf con un conjunto mínimo de facetas, es más importante una buena delimitación del campo de golf que una uniformidad en las imágenes de facetas, y se ha elegido el número de facetas como parámetro de terminación.

Golf tipo 1 (G1): Este campo es el más complejo, ya que las calles del golf son estrechas y están distribuidas entre las fincas de una urbanización. Las urbanizaciones presentan una estructura compleja y heterogénea, que dificulta la detección del golf. En la Figura 4 se pueden ver las facetas de cuatro posibles terminaciones con el vector de contorno elegido finalmente (terminación en 1200 facetas). En el caso de 500 facetas la imagen queda sub-segmentada y hay límites del campo que no se detectan. Por encima de las 1200 facetas hay una sobre-segmentación, que complica la delimitación del contorno.

Golf tipo 2 (G2): Este golf presenta una estructura menos compleja, y en este caso en concreto el área circundante es bastante homogénea, lo que facilita su detección y permite elegir un número

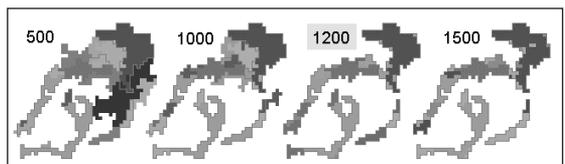


Figura 4. Campo de golf tipo G1. Vector resultante sobre las facetas obtenidas con diferentes terminaciones. En este caso concreto se han elegido 1200 facetas como terminación (los colores de las facetas son aleatorios).

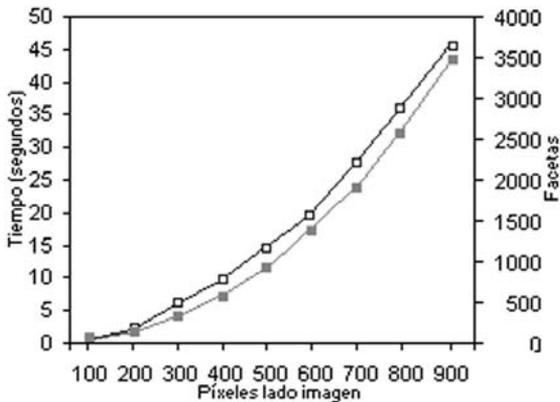


Figura 5. Tiempos de trabajo del algoritmo y nº de facetas resultantes para imágenes de distintas dimensiones. (Punto vacío tiempo y lleno facetas).

menor de facetas. Con 500 se consigue unos resultados bastante buenos, pero por ejemplo no se delimitan bien zonas internas de la finca que no están ocupadas por césped. Finalmente se eligieron 1000.

Golf tipo 3 (G3): Este tipo es el más fácil de detectar, pues es bastante compacto, y en este ejemplo con 700 facetas se ha obtenido un buen contorno. A pesar de detectarse bien este tipo de campo con un número de facetas inferior que en el caso G2, la complejidad del resto de la imagen hace que la PSNR, para un mismo número de facetas, sea la menor de los tres casos (Figura 3).

Esto demuestra que no podemos establecer un único criterio de terminación para cada tipo, pues este no sólo depende de la complejidad del campo de golf sino que depende de la complejidad general de la imagen. Aún así, el estudio de los tres tipos de campo si que nos ha dado unas pautas sobre el número de facetas a elegir como terminación.

RESULTADOS

Prestaciones del algoritmo

El algoritmo usado se ha mostrado muy útil a la hora de delimitar los campos, destacando la detección de estructuras lineales como en el caso de los campos tipo G1 (Figura 2). Esto es debido a que el algoritmo no trabaja con un radio de crecimiento como es el caso de otros algoritmos de crecimiento de regiones (*region growing*). Sin embargo, al no tener el algoritmo un radio de alcance y considerar cada píxel como una faceta al inicio del proceso, se pierde eficacia en cuanto a tiempo de trabajo al ir

aumentando el tamaño de las imágenes y se requiere mucha memoria libre. Se han hecho pruebas al respecto (Pentium-II 450 MHz con 64 Mb de RAM, en Linux) para una serie de 9 imágenes con distintas dimensiones, fijando un PSNR a 26 dB para poder comparar resultados (Figura 5).

Los tiempos de trabajo son muy aceptables hasta imágenes de 900 x 900 píxeles, pero para tamaños superiores el algoritmo deja de ser eficaz pues la escala de tiempo pasa de segundos a horas. Sin embargo hay que recordar que el algoritmo esta diseñado para secuencias de imágenes de vídeo, en concreto para imágenes QCIF de 144 x 176 píxeles, y con estas dimensiones el tiempo de procesado es del orden del segundo. Nuestras imágenes de trabajo son de 200 x 200 píxeles y el tiempo ha sido de entre 1 y 5 segundos en función del número de facetas elegido.

Vector de contorno y cálculos en el SIG

Los resultados de la segmentación, así como el MUS se han introducido en un SIG (MIRAMON, v.3.5, X.Pons 2000) donde se ha procedido a la extracción del vector de contorno del campo de golf, al cálculo de su superficie y al cálculo de los usos del suelo anteriores a su construcción. Para cada campo se ha elegido el MUS disponible de fecha anterior más próxima a la construcción del golf (1987,1992). A su vez se han comprobado los usos del suelo del MUS de la zona afectada con imágenes LANDSAT5-TM de fechas anteriores al golf (1984, 1988, 1991) en los casos en que se disponía de dichas imágenes (Figura 6).

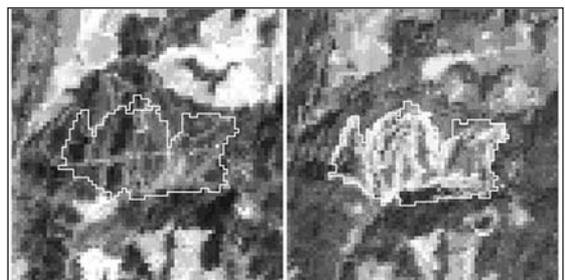


Figura 6. Vector de contorno sobre una composición RGB 542, 1991 (izq.) y 1999 (derecha).

Tamaño de los campos de golf

De los 17 campos estudiados, 7 son de 9 hoyos, 8 de 18 y 2 de 27. Se han calculado en el SIG las superficies que ocupan (Tabla 1).

Hoyos	Nº Campos	Superficie (ha)	Sup./Hoyo
9	7	25,30	2,81
18	8	55,83	3,10
27	2	77,71	2,88

Tabla 1. Resultados de tamaño.

Es interesante comprobar que el tamaño de los hoyos es muy similar en los tres casos, siendo pues el tamaño del campo proporcional al número de hoyos que tiene.

Usos del suelo anteriores

Por lo que respecta a los usos del suelo anteriores a los campos de golf, se han cruzado el polígono de cada golf con el MUS.

Los usos del suelo anteriores en el área ahora ocupada por los 17 golfs inaugurados entre 1987 y 1999 y que ocupan un total de 780 ha., se distribuyen en las siguientes clases (Figura 7): el 49% antes era de uso agrícola y el resto era de uso forestal. Las 382 ha. de suelo agrícola que han pasado a ser campos de golf correspondían básicamente a cultivos herbáceos. De las 398 ha. anteriormente forestales, 170 ha. correspondían a bosques, básicamente pinares (140 ha.), mientras que 219 ha eran de matorral.

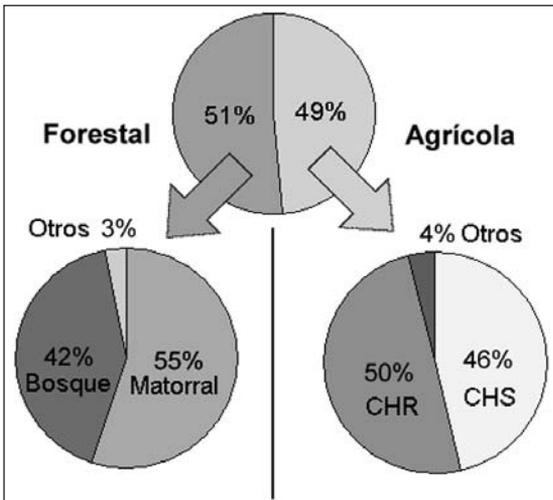


Figura 7. Usos del suelo anteriores. CHS: Cultivos herbáceos secano, CHR: Cultivos herbáceos regadío.

También se ha hecho un análisis cronológico, para ver como ha variado la composición anterior de los campos inaugurados en distintas fechas (Figura 8).

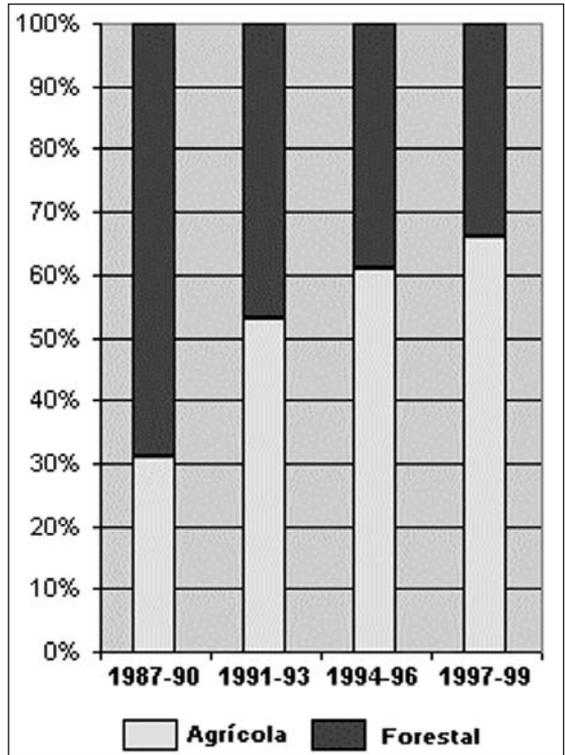


Figura 8. Usos del suelo anteriores ordenados por tramos según el año de inauguración.

Los 17 campos fueron agrupados en 4 tramos, distribuyéndose de la siguiente forma: 1987-90 (5 campos), 1991-1993 (5 campos), 1994-1996 (4 campos) y 1997-1999 (3 campos).

Vemos que el uso forestal anterior va disminuyendo con los años, siendo una de las posibles causas el acercamiento de los campos a los núcleos de población al aumentar su demanda. Otra posible causa serían los costes más elevados de extracción de biomasa o de movimientos de tierras en parcelas forestales.

CONCLUSIONES

El algoritmo de segmentación, aunque pensado inicialmente para otro tipo de imágenes, ha dado buenos resultados en la detección de contornos de campos de golf en imágenes LANDSAT-7 ETM.

Con técnicas de teledetección y de análisis SIG se han obtenido, con una mínima inversión de tiempo y recursos, resultados interesantes que complementan los obtenidos con las encuestas, para la evaluación socio-ambiental de la práctica del golf en Cataluña.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la confianza depositada en nuestro grupo de trabajo por parte del personal de *ERF-Gestió i Comunicació Ambiental, S.L.* que nos ha encargado la realización de este análisis, así como la ayuda prestada por el personal de *Natur-gest, S.L.*

BIBLIOGRAFIA

- GARRIDO, L. y SALEMBIER, P. 1998. Region based analysis of video sequences with a general merging algorithm, *EUSIPCO*, Rhodes, Greece, Vol. III, pp. 1693-1696.
- LI, W., GOZE B. B., HE, D. C., WANG, H., ZIOU, H., HUGH, Q. y GWYN, J. 1999. Watershed-based hierarchical SAR image segmentation, *International Journal of Remote Sensing*. 20 (17): 3377-3390.
- VINCENT, L. y SOILLE, P. 1991. Watershed in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulation, *IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 13: 583-598.