

Método relativo de navegación de satélites

A tener en cuenta

1. La realización de la práctica es individual.
2. Esta práctica se evalúa sobre 2,5 puntos del global de la asignatura.
3. No es necesario realizar todos los hitos para que la práctica pueda ser entregada.
4. Para la evaluación de cada uno de los apartados se tendrán en cuenta tanto la claridad del código como los comentarios incluidos en éste.
5. Para la corrección de la práctica se utilizará un programa de detección de copia. En caso de que la similitud entre dos o más prácticas se encuentren fuera de lo permisible, todas ellas serán calificadas con un 0 y aparecerá suspenso en la asignatura tanto en la convocatoria ordinaria como extraordinaria.
6. Fecha límite de entrega: Hasta el 8 de enero. Se habilitará una tarea en campus virtual para poder subirla.

Objetivos de la práctica

Uno de los logros de las matemáticas del siglo XXI ha sido la universalización de la modelización matemática, aplicándose a campos diversos de ciencia e ingeniería. Un hecho que resultó fundamental en este proceso fue la aparición de los ordenadores. Estas nuevas capacidades de cómputo han impactado en el desarrollo de las matemáticas. Se ha producido una sinergia entre *la modelización matemática y los ordenadores*. Con la realización de esta práctica se quiere mostrar tres aspectos presentes en esta díada:

- La modelización matemática y los ordenadores extienden el dominio de las ciencias experimentales y permite experimentar en un universo hipotético.

- Se puede aplicar a estudiar propiedades de sistemas matemáticos abstractos: la experimentación matemática llevada a cabo mediante ordenadores puede sugerir, muchas veces, resultados que serán demostrados mediante técnicas convencionales.
- Los procesos matemáticos susceptibles de describirse mediante un programa de ordenador no se circunscriben a operaciones y funciones matemáticas convencionales. El ordenador viabiliza la introducción de leyes científicas y matemáticas que son intrínsecamente algorítmicas en sí.

La realización de estos hitos refuerza la comprensión de las sesiones prácticas en el laboratorio y por tanto se recomienda que la realización de esta práctica se haga a lo largo del curso, afianzando de esta forma las clases de MATLAB.

Descripción del problema

La carrera por la conquista del espacio es un hecho. Tanto organismos públicos como el sector privado están utilizando sus recursos para participar en ella con diversos fines, sobre todo desde la aparición de los nanosatélites, pequeños satélites con un peso inferior a 10kg que han permitido la reducción de costes a la hora de participar en este tipo de misiones. Uno de los estándares más conocidos es el CubeSat¹.

Una vez que han sido enviados al espacio, en el caso de que no tengan que seguir una órbita fija predeterminada y teniendo que comportarse en cierta medida de manera autónoma, una de las problemáticas que se encuentran estos satélites es la navegación. Esto es debido principalmente a que no pueden utilizar los mecanismos típicos utilizados en Tierra, por lo que tienen que recurrir a otras metodologías.

Uno de los enfoques utilizados en la actualidad para solventar esta problemática se conoce como **técnicas de navegación relativas**, las cuales utilizan diversos tipos de sensores para obtener información del entorno con el fin de conocer la posición actual del satélite con respecto a otro elemento ya conocido y poder así navegar con respecto a este.

En esta práctica, en particular, vamos a centrarnos en resolver el problema de un nanosatélite que, de manera autónoma, quiere aterrizar en un asteroide y para ello necesita conocer su posición relativa con respecto a este. Para ello va a utilizar una cámara en escala de grises que se encargará de capturar una imagen de la superficie del asteroide, como la que podemos ver en la Figura 1.

Con la intención de reconocer alguna parte identificativa del mismo que le haga conocer su localización relativa, como por ejemplo la representada en la Figura 2. Esta información permitirá al satélite modificar su rumbo en consecuencia.

Existen diversas metodologías para realizar este reconocimiento, pero todas ellas se basan en como una imagen en escala de grises se representa mediante una matriz en la que cada valor en cada posición representa la intensidad del color blanco, siendo 0 la menor intensidad, que representa al negro, 255 la mayor, que representa al blanco y los valores intermedios las diferentes tonalidades de gris. Un ejemplo de esta representación se puede ver en la Figura 3. Es importante tener en cuenta que la posición (1,1) de la matriz se corresponde con la esquina superior izquierda.

¹<https://es.wikipedia.org/wiki/CubeSat>

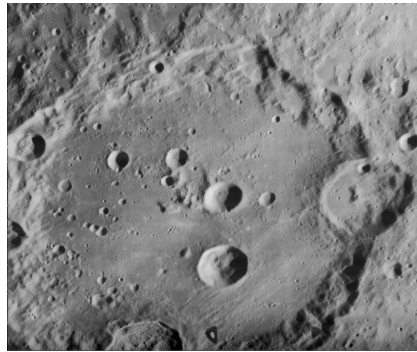


Figura 1: Superfície lunar

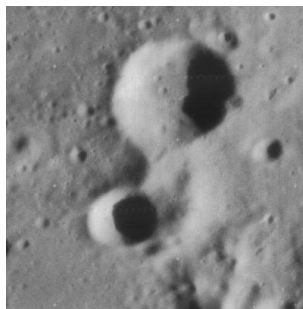


Figura 2: Parche obtenido de la superficie lunar

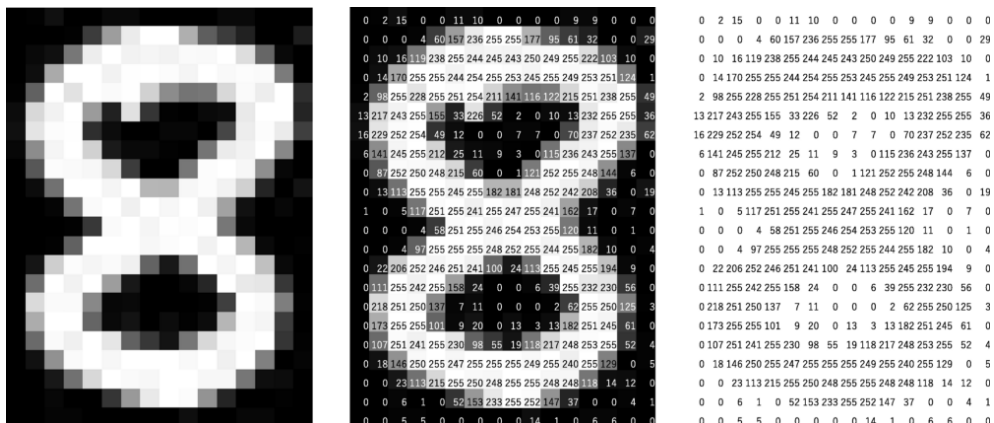


Figura 3: Imagen en tonalidades de grises (izquierda). Superposición imagen y matriz (centro). Representación mediante una matriz (derecha)

HITO 1: Cálculo de similitud entre imágenes (3 puntos)

El contenido de una imagen está codificado digitalmente en el valor de cada una de las unidades mínimas de información que la componen llamadas *pixels*. Para describir el contenido de

la información de una imagen de forma objetiva y automatizada se emplean los descriptores de características. Estos descriptores deberían cumplir que si dos imágenes son similares se obtenga un descriptor muy similar. En este caso utilizaremos como descriptor el Histograma de Gradientes Orientados (HOG)². Esta técnica es muy utilizada cuando queremos analizar el contenido de una imagen, contando el número de ocurrencias de la orientación de los gradientes en partes definidas de la misma obteniendo un vector que la describirá. Debido a la complejidad de implementar dicha función, se proporciona un fichero **HOG.m** junto con el enunciado de la práctica con la misma ya implementada.

En este primer Hito, vamos a estudiar como podemos realizar la comparación entre dos imágenes. Los pasos a seguir serían los siguientes:

1. Cargar la primera imagen a comparar. Para cargar las imágenes, MATLAB nos proporciona la función **imread**.
2. Cargar la segunda imagen a comparar.
3. Calcular un descriptor de características de cada imagen con la función **HOG**.
4. Comparar los descriptores obtenidos utilizando una distancia dada entre los mismos. En esta práctica emplearemos la función coseno que describiremos a continuación.

Para calcular la distancia entre dos descriptores obtenidos de dos imágenes diferentes se utilizará la distancia del coseno que denominaremos como d_{AB} . Cuanto menor sea este valor para dos descriptores determinados, estos estarán mas cerca y mayor será su similitud. Para ello podemos calcular el coseno de dos vectores a partir del producto escalar entre vectores:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \|\mathbf{A}\| \|\mathbf{B}\| \cos(\theta)$$

A partir de la anterior relación y conocidos los vectores **A** y **B**, la similitud del coseno $\cos(\theta)$ se calcula de siguiente forma:

$$\cos(\theta) = \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{\|\mathbf{A}\| \|\mathbf{B}\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}},$$

donde A_i y B_i son las componentes de los vectores **A** y **B**. Para calcular la distancia d_{AB} entre ambos, tendremos que:

$$d_{AB} = 1 - \cos(\theta)$$

SE PIDE:

Dadas la imagen de referencia y las 4 imágenes adicionales proporcionadas junto a la práctica en el directorio HITO1 (Figura 4):

1. Cargar la imagen de referencia y las 4 imágenes con las que comparar. Mostrarlas todas en una misma figura utilizando la función **imshow**.
2. Calcular los descriptores HOG de todas las imágenes y representarlos gráficamente en una misma figura. ¿Podemos encontrar alguna similitud gráficamente entre la imagen de referencia y el resto?

²https://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_of_oriented_gradients

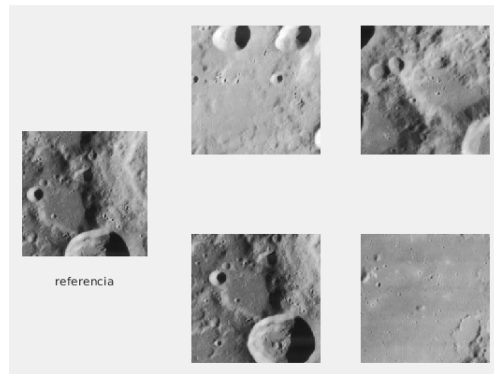


Figura 4: Imágenes HITO1

3. Implementar la función de similitud del coseno y utilizarla para indicar cual de las imágenes es más parecida a la de referencia.

HITO 2: Localización de la zona de interés mediante la generación de un mosaico (4 puntos)

Una vez comprendida la metodología para comparar el contenido de dos imágenes, para el caso de conocer la posición relativa del satélite con respecto al asteroide se hace necesario realizar una búsqueda en la imagen completa con el fin de localizar la posición más aproximada a la imagen de referencia.

La técnica a utilizar en este Hito consistirá en hacer un mosaico de la imagen del asteroide, en el que todas las particiones realizadas serán contiguas y tendrán el mismo tamaño que la imagen de referencia (Figura 5). Cada una de estas particiones deberá compararse con la imagen de referencia, indicando en que posición se encuentra la partición con mayor similitud.

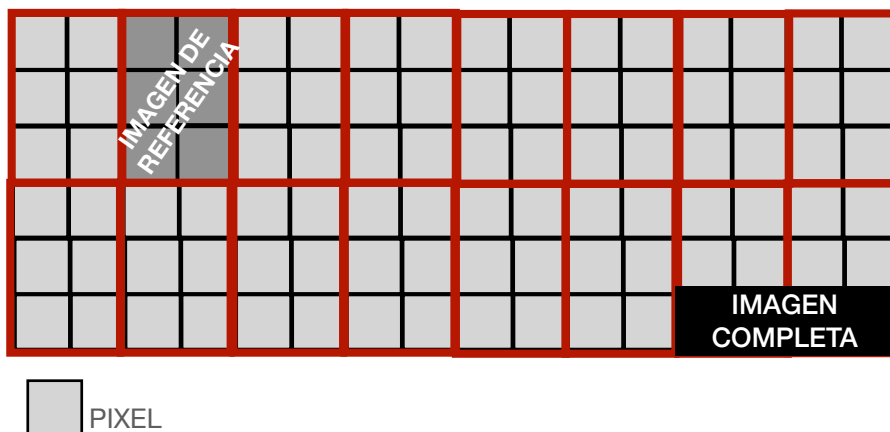


Figura 5: Mosaico

SE PIDE:

Dadas la imagen de referencia y las imagen completa del asteroide junto a la práctica en el directorio HITO2:

1. Cargar la imagen de referencia y la imagen del asteroide. Crear una imagen temporal (solo para este subapartado) en la que se sustituya una parte de la imagen del asteroide por la imagen de referencia comenzando por el vértice superior izquierdo, mostrándola por pantalla.
2. Utilizando el tamaño de la imagen de referencia, crear el mosaico de la imagen del asteroide.
3. Aplicar la función de distancia para localizar la posición con mayor similitud a la imagen de referencia y mostrarla por pantalla.

Nota: Los puntos 2 y 3 podrán hacerse de forma separada o concurrentemente.

HITO 3: Localización fina de la zona de interés mediante ventana deslizante configurable (3 puntos)

El método explicado en el Hito 2 tiene la limitación de que, si ninguno de los mosaicos coincide realmente con la imagen de referencia, se podría obtener un resultado incorrecto o podría no ser posible localizarla. Es por ello que, para revisar de forma más minuciosa la imagen mediante un particionado más minucioso, existe el **método de ventana deslizante**. Este algoritmo nos permite definir una variable de salto *saltoX* en el eje *X* y otra *saltoY* en el eje *Y* que modificarán el comportamiento de nuestra búsqueda, obteniendo la siguiente partición de la imagen a analizar teniendo en cuenta estos valores en cada movimiento del recuadro, permitiendo que elementos de la partición actual se superponga con particiones previas.

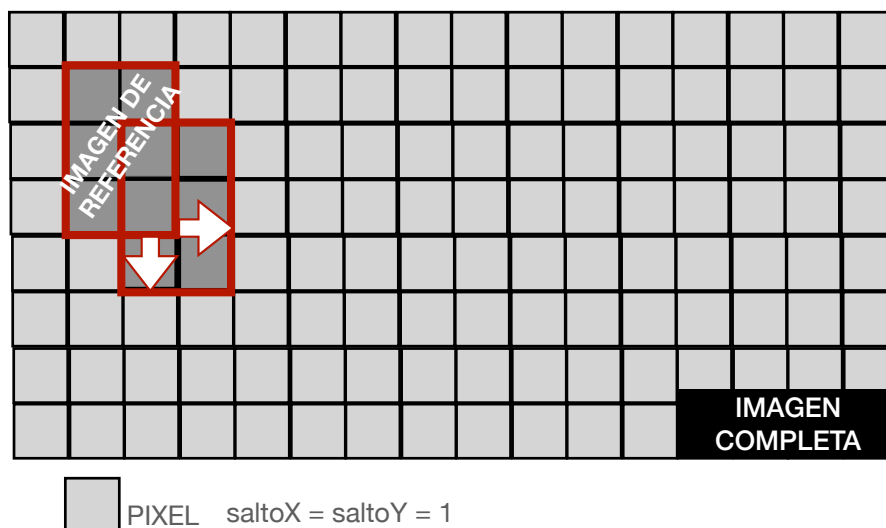


Figura 6: Ventana deslizante

En el caso de la división de la imagen en mosaico, podríamos considerar que los parámetros de salto coinciden con el tamaño de la imagen de referencia en ambos ejes, mientras que en este caso el po-

der modificarlos hará que la revisión sea más completa, a coste de tener que realizar más comparaciones.

SE PIDE:

Dadas la imagen de referencia y la imagen completa del asteroide junto a la práctica en el directorio HITO3:

1. Cargar la imagen de referencia y la imagen del asteroide.
2. Implementar el algoritmo de ventana deslizante, incluyendo los parámetros *saltoX* y *saltoY*. Tener en cuenta que, para el caso en que el salto en cualquiera de los ejes haga que la ventana sobrepase el límite de la imagen del asteroide, se descartará esa partición.
3. Aplicar la función de distancia para localizar la posición con mayor similitud a la imagen de referencia y mostrarla por pantalla., utilizando los siguientes valores: $saltoX = 100$ $saltoY = 120$.

Nota: Los puntos 2 y 3 podrán hacerse de forma separada o concurrentemente.