

CAPÍTULO 2

Estado del Arte

Existen numerosos estudios acerca del comportamiento y modelado del Sistema Visual Humano, todos ellos con la finalidad de hacer comprender cómo entendemos el modo en que podemos descomponer las partes fundamentales de la escena que estamos observando. La mayor parte de estos sistemas están basados en la segmentación de las formas elementales que componen la imagen, de forma que podamos realizar un análisis de las estructuras esenciales.

1. Congruencia de Fase

La energía de una señal está estrechamente relacionada con su *congruencia de fase* o PC [2]. La congruencia de fase realiza una medida del grado de alineamiento que poseen las componentes de Fourier.

Dada la expansión de la serie de Fourier de una señal $I(x)$,

$$I(x) = \sum_n A_n \cos(2\pi nx + \phi_{n0}) = \sum_n \cos(\phi_n(x)) \quad (\text{ec. 2.1.1})$$

donde A_n representa la amplitud de la n -ésima componente, ϕ_{n0} su desfase y $\phi_n(x)$ la fase de la componente de Fourier en la posición x , la PC se representa de la siguiente manera.

$$PC(x) = \max_{\bar{\phi} \in [0, 2\pi)} \frac{\sum_n A_n \cos(\phi_n(x) - \bar{\phi}(x))}{\sum_n A_n} \quad (\text{ec.2.1.2})$$

donde $\phi_n(x)$ puede ser estimado en los alrededores de un x relacionado con la escala.

Podemos demostrar [3] que la energía de la señal es igual a la congruencia de fase multiplicada por la suma de todas las componentes de amplitud de Fourier.

$$E(I) = PC \sum_n A_n \quad (\text{ec. 2.1.3})$$

Por lo tanto, buscar los picos donde la energía local es máxima es equivalente a buscar puntos donde la congruencia de fase es también máxima. Estos puntos donde obtenemos una energía máxima son los puntos donde la imagen realiza saltos bruscos, es decir, en los contornos de la misma. En el siguiente ejemplo, vemos una imagen a la cual se le ha hallado la congruencia de fase.



Ilustración 2.1 Izquierda: Imagen en escalas de grises con formas rectangulares y circulares. Derecha: PC de la imagen anterior.

Con la congruencia de fase obtenemos los contornos que forman cada una de las figuras que se encuentran en la imagen. Sin embargo esta forma de proceder hace que sólo extraigamos contenido de alta frecuencia y sin ninguna orientación fija, por lo que no sería una buena elección si nos centramos en la idea de que queremos conseguir formas y hacer una distinción de las mismas basándonos en sus orientaciones y escalas, realizando un análisis en el dominio de la frecuencia.

2. Umbralización

El histograma de una imagen es una representación en donde se pueden observar el número de ocurrencias de niveles de gris que existen en dicha imagen. De este modo,

podríamos realizar una segmentación extrayendo ciertas zonas del mismo. La imagen que hemos tratado en el método anterior, tendría el siguiente histograma.

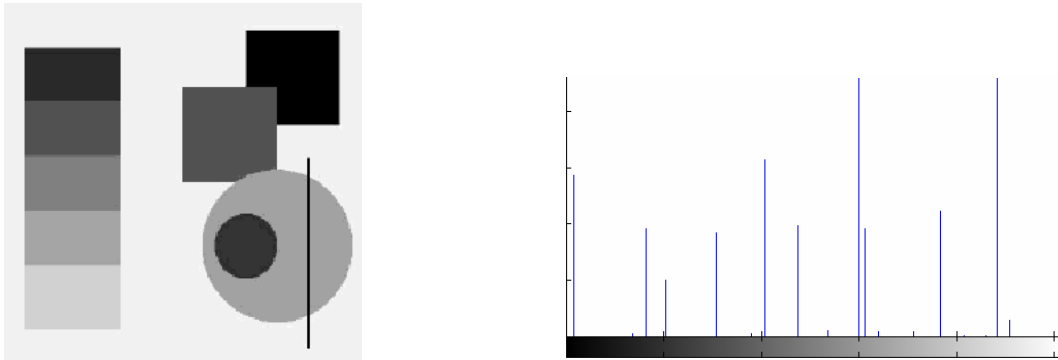


Ilustración 2.2 Izquierda: Imagen en escalas de grises con formas rectangulares y circulares. Derecha: Histograma de la misma.

De modo que eligiendo ciertas zonas del mismo, podríamos conseguir segmentar diferentes objetos, en función de su nivel de gris. Por ejemplo, si quisiéramos segmentar el círculo externo situado en la esquina inferior derecha, deberíamos obtener su nivel de gris y extraerlo en el histograma, de modo que obtendríamos la siguiente imagen.

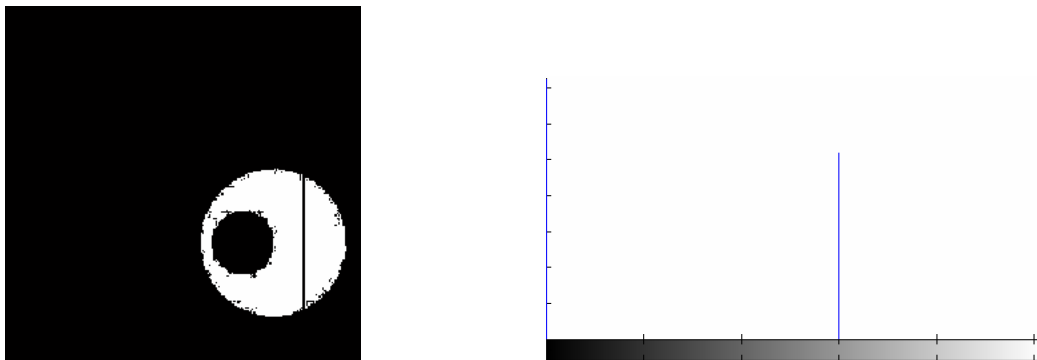


Ilustración 2.3 Izquierda: Extracción del elemento circular. Derecha: Histograma de la misma.

El problema que sucede en este método es que si queremos extraer un objeto cuyo nivel gris varíe, no podríamos extraerlo completamente, siempre existirían zonas del mismo que pertenecerían a otra segmentación, con un tono de gris diferente.

Otro problema que nos encontramos en este método es la imposibilidad de extraer objetos individualmente con el mismo nivel de gris, siempre extraeríamos ambos objetos sin poder distinguir entre ellos.

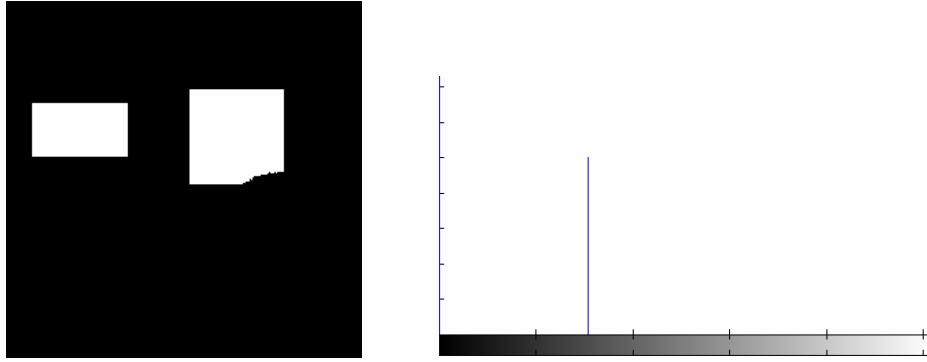


Ilustración 2.4 Izquierda: Extracción de los electos rectangulares con igual nivel de gris. Derecha: Histograma del mismo.

Además, vuelve a suceder el problema de la orientación y la escala, no podríamos extraer patrones con ciertas orientaciones, que es en lo que realmente estamos interesados.

3. Crecimiento de Regiones

Este método consiste en la implantación de una semilla en la zona de interés y el crecimiento de la misma mediante la adición de nuevos píxeles según unas condiciones de inclusión. Dichas condiciones serán básicamente la vecindad de los píxeles y el valor de los mismos, de modo que se incluyan únicamente aquellos píxeles que estén inmediatamente próximos al píxel semilla y que tengan valores cercanos a su valor.

Con este método solucionamos el problema que presentaba el método de umbralización y sí podremos extraer objetos individualmente aunque ambos presenten niveles de gris semejantes, ya que no se cumpliría la condición de vecindad.

Por ejemplo, en nuestra imagen, si queremos extraer el segundo rectángulo situado en la pila de la izquierda, bastaría con colocar una semilla en el mismo y aplicar el algoritmo de crecimiento de regiones. De este modo no obtendríamos el cuadrado de la derecha.



Ilustración 2.5 Izquierda: Semilla colocada en el segundo rectángulo de la pila de la izquierda. Derecha: Extracción de dicho rectángulo.

Nuevamente vuelve a suceder el problema de la imposibilidad de extraer estructuras orientadas con este sistema.

4. Segmentación de Imágenes en el Sector Hospitalario

En el sector hospitalario, existen numerosos sistemas que permiten la extracción de diferentes zonas de la imagen que pueden ser relevantes a la hora realizar un estudio. El formato por excelencia que se usa en este sector para manipular imágenes médicas es el formato DICOM.

Por la estructura esencial de este formato, se ha planteado la posibilidad de reconstruir la zona que se está examinando, obteniendo así imágenes en 3D. La reconstrucción se consigue mediante la interpolación de cada uno de los *slices* que componen el estudio DICOM. Seleccionando una ventana adecuada podemos conseguir reconstruir estructuras óseas, tejidos musculares o diferentes órganos. Estas ventanas están predefinidas y mediante la selección de las mismas podemos extraer el tejido que nos interesa. Por ejemplo, usando una ventana llamada ventana de hueso podemos seleccionar estructuras óseas, como podemos apreciar en la siguiente reconstrucción tridimensional.

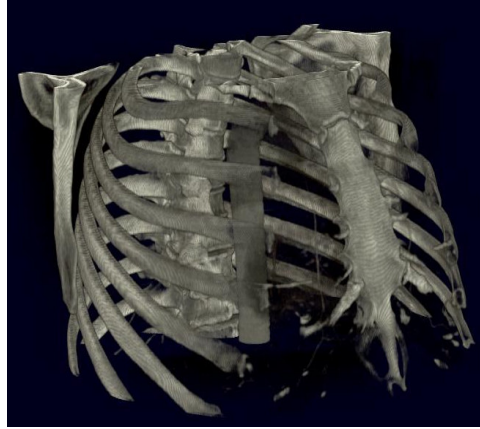


Ilustración 2.6 Reconstrucción tridimensional de la caja torácica. Selección de una ventana adecuada para mostrar estructuras óseas.

Otra ventana que podemos usar es la ventana de de mediastino, con la cual escogeríamos la zona torácica, comprendida horizontalmente desde la cara anterior de la columna vertebral hasta la cara posterior del esternón y verticalmente desde el diafragma hasta el yugulum esternum. Con esta ventana registraríamos la caja torácica donde se incluiría tanto estructuras óseas como partes blandas, como puede ser el corazón y sus estructuras vasculares. Los pulmones no pueden apreciarse en esta ventana al estar su contenido, principalmente formado por gas. En la siguiente imagen encontramos un ejemplo extraído con una ventana de mediastino.

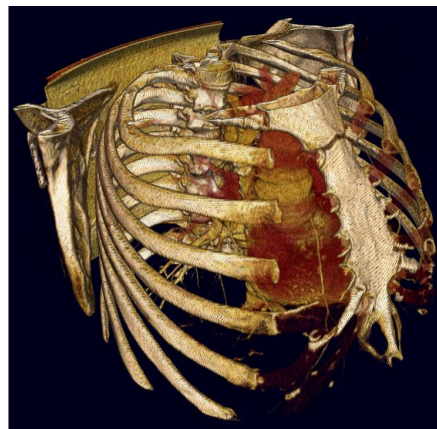


Ilustración 2.7 Reconstrucción tridimensional de la caja torácica. Selección de una ventana adecuada para mostrar tanto estructuras óseas como tejidos blandos.

Con este tipo de representaciones, podemos realizar segmentación de imágenes en 3D. Gracias a las diferentes densidades que poseen las diferentes estructuras y mediante un algoritmo de crecimiento de regiones, podemos segmentar y extraer el tejido que nos interesa. Por ejemplo, podemos programar la exclusión de estructuras óseas, extrayendo así el corazón.

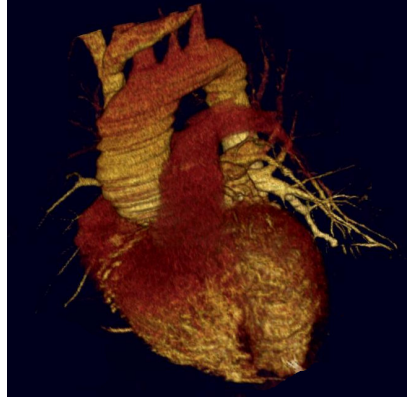


Ilustración 2.8 Segmentación del corazón.

Este tipo de reconstrucciones se utilizan de manera muy habitual en cardiología, en concreto en la unidad de arritmias, en los estudios de electrofisiología, donde se intervienen los diferentes tipos de taquicardias o bradicardias, ya sean ventriculares o auriculares, mediante la aplicación de radiofrecuencia en determinados focos situados en las paredes internas del corazón. Estos focos, motivo de taquicardia, se eliminan del sistema natural de conducción del corazón, consiguiendo así un ritmo normal en el mismo.

En concreto existe dos sistemas, llamados Carto XP y CartoMerge, los cuales trabajan de manera conjunta, para poder realizar un mapa virtual de las distintas cavidades del corazón, permitiendo así al electrofisiólogo moverse libremente por las mismas, reduciendo así el uso de fluoroscopia. Un ejemplo de estos mapas, lo encontramos en el siguiente gráfico, el cual recrea una aurícula izquierda realizada con el sistema Carto XP. El mapa de colores tiene diferentes interpretaciones, en este caso, hablamos de impedancia del tejido del miocardio.

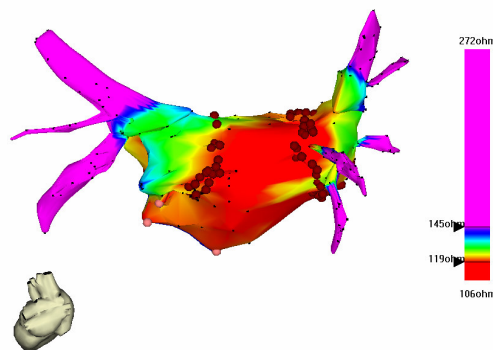


Ilustración 2.9 Mapa virtual de la aurícula izquierda junto con sus venas pulmonares.

Dicho mapa representa la cavidad de la aurícula izquierda junto con sus venas las cuales traen sangre oxigenada procedente de los pulmones para llevarlas al resto del cuerpo a través del ventrículo izquierdo y la arteria aorta. Los puntos de color granate

son los puntos en donde se ha aplicado radiofrecuencia para eliminar la taquicardia, en este caso, era una fibrilación auricular.

Con el sistema CartoMerge, podemos conseguir una segmentación de la estructura del corazón, pudiendo definir perfectamente cada una de sus cavidades y vasos que lo componen. Esto se consigue con algoritmos de crecimiento de regiones, colocando semillas en las diferentes estructuras del corazón. Debido a las diferencias de densidad de las mismas, podemos extraer perfectamente cada una de ellas. Este sistema, orientado al estudio del corazón, usa una ventana de mediastino, por lo que observaremos tanto las estructuras óseas de la caja torácica, como el sistema del corazón. Como ejemplo, tenemos la siguiente imagen, donde cada elemento se ha clasificado con un color diferente.

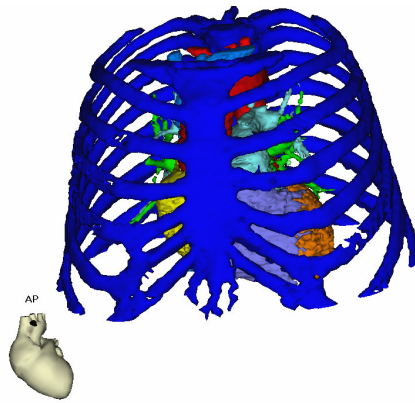


Ilustración 2.10 Reconstrucción tridimensional usando CartoMerge.

Podemos realizar la segmentación, para extraer el corazón, y en concreto la aurícula izquierda que es la que nos interesa para el tratamiento de una fibrilación auricular.

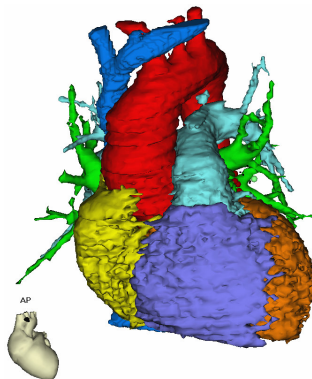


Ilustración 2.11 Reconstrucción tridimensional del corazón con CartoMerge.

Si nos vamos a la cara posterior del corazón, podemos observar la aurícula izquierda, como podemos apreciar a continuación.

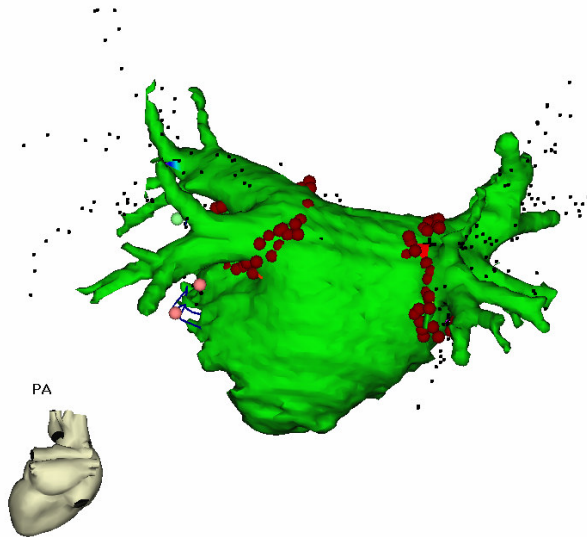


Ilustración 2.12 Reconstrucción tridimensional de la aurícula izquierda.

Como apreciamos, ambos mapas, tanto el obtenido con Carto XP, como el de CartoMerge, son totalmente equivalentes, de forma que los puntos de radiofrecuencia encajan a la perfección.

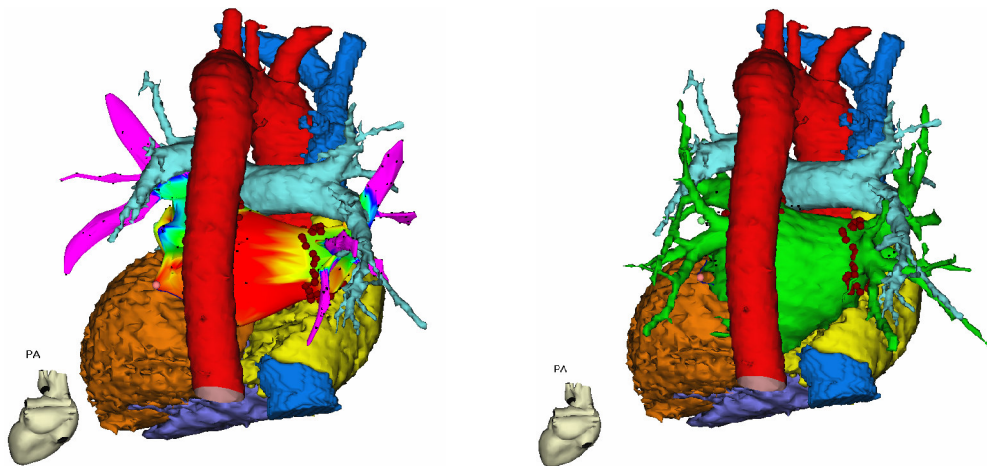


Ilustración 2.13 Demostración del perfecto acoplamiento entre ambas técnicas de reconstrucción de la aurícula izquierda.

La ventaja de estos mapas o reconstrucciones tridimensionales respecto a las anteriores es su simplicidad y a la vez, exactitud de los mismos. Además, gracias a un

sistema GPS implantado en la camilla del paciente, podemos realizar una navegación virtual a través de las distintas cavidades del corazón, evitando así el engorroso y perjudicial uso de fluoroscopia durante la intervención.