

Reconstrucción Interactiva (IR)

Ing. Jorge Luis Euillades: Titular de la Cátedra de Tecnología de las Imágenes I de la Universidad de San Martín.

En la actualidad la técnica tomográfica está pasando por un cambio importante, además de las mejoras técnicas en la calidad de los detectores, las reconstrucciones volumétricas, exploraciones de alta velocidad, etc. que se vienen sucediendo, la más importante es una técnica llamada "Reconstrucción Interactiva" o "Reconstrucción Adaptativa Interactiva"

Esta técnica permite importantísimas reducciones de ruido y lo que es tan, o más importante, reducciones de dosis entre 60% a 80%, (o aún mucho mayores) sin afectar la calidad de imagen.

Por esta razón ya no son comparables los equipos fabricados antes y después de la aplicación de esta técnica.

Pero comencemos por el principio: El método Tomográfico consiste en recoger, los Rayos x que han atravesado al paciente en distintas direcciones.

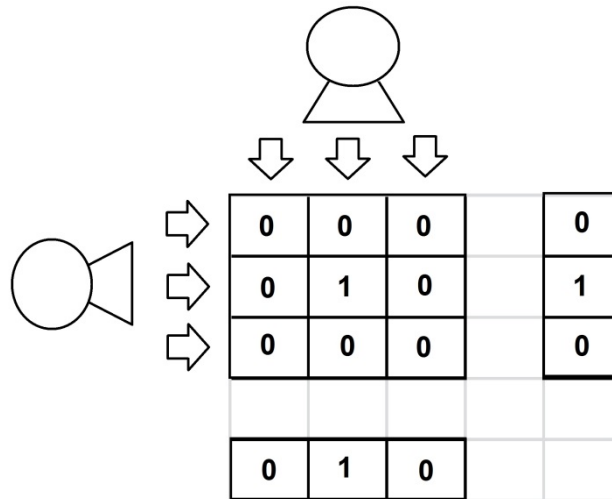
Estos Rayos son atenuados por los órganos y huesos del paciente y por lo tanto contienen la información de la suma de densidades que han atravesado.

Si nos centramos en solamente un punto (pixel) dentro del paciente, vemos que al conocer las densidades totales en cada una de las direcciones en que lo han atravesado los Rayos x, podemos conocer la densidad de ese punto en particular.

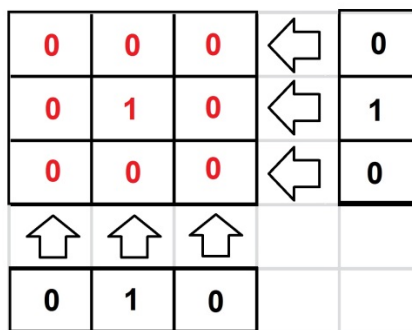
Una forma sencilla de verlo es en una pequeña matriz de 3 filas x 3 columnas.

Tomemos dos tonos solamente, negro (representado por un número "1") y blanco (representado por un número "0")

Si la suma de densidades obtenidas a partir de explorar a un objeto en forma vertical y horizontal, son las que se muestran en la figura, entonces basta un simple análisis para "reconstruir" el mapa de densidades original



La reconstrucción se hace fila a fila y columna a columna



Este ejemplo, es una reconstrucción “algebraica” muy simplificada, pero deja ver que se necesita un “análisis” o un “algoritmo” para aprovechar los datos obtenidos.

En la práctica, para la reconstrucción, se utilizan varios algoritmos bastante más complejos, pero hasta ahora el utilizado en Tomografía Computada no difería en mucho de la solución matemática de Johann Radon propuesta en 1917, y la aplicación de la Transformada de Fourier, o sus simplificaciones discretas como la FFT (Fast Fourier Transform) adaptadas a un menor uso y cantidad de datos para que las computadoras los pudieran procesar.

Esta técnica se llama FBP (Filtered Back Projection), y se ha utilizado hasta ahora, con todo éxito, en todos los equipos fabricados, sin embargo, la formulación matemática que lo genera, mantiene una ligazón, debida al propio método, entre la resolución espacial, el ruido, y la dosis, por lo que mejorar la resolución espacial, y entonces observar detalles más finos, implica inevitablemente tener que aumentar la dosis y con ella el ruido

$$\text{Ruido} \approx \frac{1}{\sqrt{\text{Cantidad de Rx}}} \approx \frac{1}{\sqrt{\text{mAs}}} \approx \frac{1}{\sqrt{\text{Dosis}}}$$

Como la dosis es inversamente proporcional al cuadrado del ruido, implica que para bajar el ruido a la mitad se debería cuadruplicar la dosis.

La nueva tecnología interactiva adaptativa, está fundamentada, más que en mejoras tecnológicas, que también las tiene, en usar nuevos algoritmos matemáticos de reconstrucción, los que son mucho más eficaces, pero requieren mayores fortalezas del hardware.

Para comenzar a desentrañar los misterios de la Reconstrucción Interactiva adaptativa, es necesario definir dos regiones matemáticas en la que se procesan los datos como veremos a continuación.

Los datos recogidos directamente por los detectores, se denominan “datos crudos” ó “raw data”, mientras que los datos ya procesados, utilizando las técnicas de reconstrucción, se denominan “datos de imagen”

Técnicamente se definen entonces, dos zonas, conocidas como “campo de datos crudos” y “campo de la imagen”, según sea donde se realizan las operaciones matemáticas con los datos.

El método interactivo se basa en la realización de interacciones en el campo matemático de reconstrucción de la imagen y/ el de los datos crudos.

Vamos a intentar nuevamente una explicación simple, sin utilizar fórmulas matemáticas:

- 1) Se posiciona al paciente y se obtienen los datos crudos en los detectores del tomógrafo.
- 2) Como siempre, se reconstruye la matriz obtenida de un corte al paciente.(una cantidad de números que representan los distintos tonos de gris de la imagen)
- 3) Se toma esta matriz y matemáticamente se la reemplaza por el paciente repitiendo el primer y segundo paso.

En estas condiciones ambas matrices, la primera obtenida directamente del paciente y la segunda, obtenida reemplazando al paciente por la primera matriz reconstruida deberían ser iguales.

Eso ocurriría, efectivamente, si la reconstrucción fuera perfecta, sin artefactos ni ruido, sin embargo en la práctica, ambas difieren, por lo que se puede utilizar la diferencia entre ambas para interactuar nuevamente.

Este proceso se puede repetir tantas veces hasta que el error sea mínimo y converja a un resultado cada vez más aproximado a la eliminación de ruido y artefactos.

La contribución de los errores, en el campo de los datos crudos, surge básicamente de tres fuentes,

a) el sistema de detección del propio equipo. (Defectos físicos del equipo inherentes a su construcción, a la física de los detectores, etc.)

b) el ruido eléctrico (Producido por las altas tensiones en juego y los propios dispositivos electromecánicos),

c) el ruido cuántico. (Dependiente de la emisión en paquetes de los cuantos y su detección)

Todos estos errores, se pueden predecir, aproximadamente, a partir de ensayos previos, con mediciones en el caso del equipo, y estadísticamente en el caso de los ruidos, lo que hace posible corregirlos en mayor medida.

Estos sistemas de corrección, pueden resultar difíciles de entender, pero la tecnología digital da muchas posibilidades.

Imagine por un momento, que toma una fotografía de un objeto que nunca más estará disponible, y que ésta sale fuera de foco, a causa que ajustó mal la cámara.

En una primera aproximación, parece imposible que pueda obtenerse una fotografía en foco a partir de esa información, y eso es a lo que nos tiene acostumbrados nuestra experiencia analógica, sin embargo, no es así desde el punto de vista digital.

El procesamiento de imágenes con la cámara digital, puede ser descrito con una matriz matemática, donde cada número de la matriz muestra cómo es capaz de responder el objetivo y el detector de la cámara tal como fue ajustado.

Por otra parte, el brillo de un objeto, un jarrón, por ejemplo, también puede ser descrito como una matriz de números, donde cada punto, o pixel, tiene un brillo, una densidad de gris, y un color.

Entonces el producto de la matriz que representa el objeto, multiplicado por la matriz que representa la cámara y el objetivo, tal como fue ajustado al tomar la fotografía, da como resultado la matriz "imagen", lo que es una simple operación matemática:

$$[\text{Imagen}] = [\text{Camara}] \times [\text{Objeto}]$$

Ahora bien, cuando tomó la primera fotografía, fuera de foco, obtuvo una imagen que llamaremos “Imagen fuera de foco”, y como también sabía cómo estaba (mal) ajustada la cámara en esa condición, conocía entonces la matriz de la cámara-objetivo con ese mal ajuste, (La llamaremos Cámara mal ajustada) y

Entonces, en ese caso, ya que son solo números, se puede calcular la matriz que representa al Objeto original, haciendo la siguiente operación:

$$[\text{Objeto}] = \frac{[\text{Imagen fuera de foco}]}{[\text{Cámara mal ajustada}]}$$

Una vez que ha obtenido, mediante este cálculo, la matriz matemática que representa el “Objeto” (y recuerde nuevamente que no son más que números), puede ajustar la matriz de la Cámara a la condición correcta, tal como que hubiera necesitado para sacar la fotografía correctamente en foco, (La llamaremos Cámara bien ajustada) y entonces sería sencillo, hacer una nueva operación matemática y obtener una foto en foco.

$$[\text{Imagen en foco}] = [\text{Objeto}] \times [\text{Cámara bien ajustada}]$$

Todo lo que tiene que hacer es imprimirla, la impresora se encargará de traducir los números de la matriz a tonos y colores.

Como se ve con este ejemplo, las imágenes digitales, pueden dar enormes posibilidades de corrección y tener en cuenta la caracterización matemática del dispositivo utilizado (en este caso la cámara y el objetivo y en otra el TAC y los detectores).

Es así que, volviendo al tema de la interacción adaptativa, pueden tenerse en cuenta los defectos incurridos al utilizar un equipo en particular y los datos estadísticos que permitan corregir los otros errores, obteniendo por ende una matriz libre de gran parte de los errores introducidos, sin embargo, como los procesos de reconstrucción no son perfectos, persisten aún los errores debidos al método empleado.

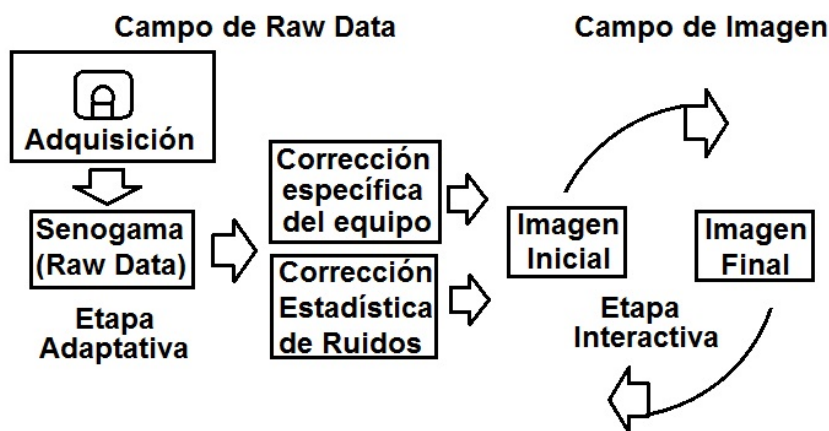
Estas correcciones, se realizan, entonces, usando un método, que en general podríamos llamar de “prueba y error”, reduciendo en cada interacción las diferencias encontradas.

Las interacciones realizadas en el campo de datos crudos, implican manejar gran cantidad de datos, es por eso que, como el desafío es realizar estas interacciones en un tiempo corto, se prefiere realizar la mayor parte de las interacciones en el campo de imagen.

Esto es posible gracias a que existe una propiedad matemática de la reconstrucción. En efecto, se puede demostrar que se obtienen iguales resultados utilizando los datos “crudos” o los datos de la imagen en estas interacciones.

La tecnología aprovecha esta facilidad y logra entonces, reconstruir las imágenes en alta velocidad y con significativa reducción de ruido, artefactos y dosis mayormente utilizando el campo de las imágenes, utilizando computadoras al alcance de la técnica actual.

En la figura se muestra un esquema general, que varía de Fabricante en Fabricante ya que algunos realizan interacciones en el campo de datos crudos (Raw) en mayor medida que otros y algunos no realizan interacción allí.



La magnitud del beneficio obtenido es muy grande, en efecto, datos suministrados por un fabricante muestran que para un estudio de tórax realizado con 120KV; se necesitan cinco veces menos mAs, con esta técnica que con la de FBP; pero además la calidad de imagen se mantiene o aún mejora, lo que resulta imposible de hacer con las técnicas convencionales.

Estas técnicas de Reconstrucción Interactiva y Adaptativa tienen diferentes nombres comerciales; ordenados en secuencia alfabética son: “AIDR 3D” de Toshiba; “iDose4” de Philips; “IRIS” y “Safire” de Siemens; y “ASIR” y “VEO” bajo la base “MBIR” de General Electric.

Cabe señalar que una reconstrucción interactiva en el campo de imagen únicamente, sin tener en cuenta la imagen original que proviene de la reconstrucción básica al momento de presentar los resultados deviene en una “imagen plástica”, con poco efecto “real” por eso los fabricantes suelen mezclar adecuadamente los resultados para lograr la apariencia buscada.

Esta etapa se conoce como “image blending” o sea mezclado.

Generaciones de Software de reconstrucción

Así como se dividieron en “generaciones” los métodos de hardware de reconstrucción, también se suele dividir con igual nombre los avances de software, así las generaciones de sw son:

Primera generación: Métodos basados en Radon y FFT.

Segunda generación: Métodos de filtrado en el campo imagen.

Tercera generación: Primeros métodos basados en reconstrucción interactiva.

Cuarta generación: Métodos con mayor participación de reconstrucción en el campo de raw data.

A medida que avanzan las “generaciones” se disminuye la dosis y se mejora la imagen, pero a costa de una necesidad cada vez mayor de facilidades informáticas y mucho mayor capacidad de procesamiento, lo que a veces puede implicar una disminución seria de rendimiento de la máquina.