

**Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ciencias
Escuela de Computación**

Lecturas en Ciencias de la Computación
ISSN 1316-6239

Calibración de Imágenes Radiográficas

Prof. Esmitt Ramírez J.

RT 2010-02

Calibración de Imágenes Radiográficas

Esmitt Ramírez J.

Marzo 2010

Resumen

En la actualidad, es conveniente que los Centros Hospitalarios almacenen los casos clínicos de los pacientes en formato digital para su posterior estudio. Sin embargo, existen Centros Hospitalarios que no poseen estos mecanismos. Particularmente en el área de Traumatología, los casos clínicos están asociados a placas de Rayos-X. El médico traumatólogo coloca la placa sobre un negatoscopio y toma una fotografía digital. Con esta imagen, es posible realizar planificaciones preoperatorias como parte del procedimiento de una cirugía a un paciente. Dado que diferentes imágenes pueden ser capturadas por diferentes cámaras a distintas resoluciones, esto crea un problema al momento de realizar una correspondencia entre las dimensiones lógicas de la imagen y las dimensiones físicas de la placa de Rayos-X real. Introducir en la escena un objeto de tamaño conocido al momento de la adquisición de la imagen (objeto referencia) permite realizar la correspondencia correctamente (calibración). Este proceso de calibración puede ser realizado de forma manual, pero se necesita invertir una considerable cantidad tiempo y es propenso a errores. Una solución es realizar este proceso de forma automática con el objetivo de minimizar el tiempo a invertir y definir un objeto de referencia que sea utilizado en todos los casos de la adquisición de una imagen. En este documento se presenta un algoritmo para la calibración automática de una imagen utilizando los orificios dejados por una perforadora de papel como objeto de referencia.

Palabras Claves: Procesamiento de imágenes, patrones, calibración de imágenes, placas de Rayos-X.

Los médicos traumatólogos deben realizar una planificación de las fracturas de los pacientes donde indicarán los materiales, técnicas y métodos quirúrgicos a utilizar. La principal herramienta de trabajo para estos, son las placas de Rayos-X que representan un caso clínico de una fractura.

En el trabajo presentado en [3], se muestra un esquema de planificación preoperatoria digital para traumatología. En este documento, explicaremos en detalle los pasos # 1 y #2: Adquisición de la imagen y Calibración de la Imagen. En la Sección 1 se describe el proceso de la adquisición de la imagen a trabajar. La Sección 2 de Preparación de la imagen describe los pasos necesarios que se deben ejecutar sobre la imagen de entrada. En la Sección 3, se explica en detalle el Algoritmo de Búsqueda de Orificios empleado para realizar la calibración. Finalmente, la Sección 4 explica el proceso de Calibración final.

1. Adquisición de la imagen

Según el esquema presentado en [3], las imágenes a trabajar pueden ser tomadas desde dos fuentes: empleando una cámara digital ó en formato digital DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*). Para el caso de imágenes DICOM, la modalidad a emplear puede ser CR (*Computer Radiography*) o RG (*Radiographic Imaging*). Sin embargo, normalmente no es necesario calibrar las imágenes DICOM porque el encabezado de estos archivos ya incluye la información de la resolución física del píxel.

Para el caso de imágenes tomadas utilizando una cámara digital, el médico coloca sobre un negatoscopio la(s) placa(s) de Rayos-X para generar el contraste adecuado y procede a tomar la fotografía. Dicha imagen posee una resolución en píxeles que puede ser cambiada de acuerdo a la capacidad de la cámara. Por ejemplo, al tomar una fotografía de un fémur de un niño se puede obtener la imagen a una resolución de 1024×768 píxeles; pero al utilizar una cámara distinta se puede obtener la misma imagen a una resolución de 1680×1050 píxeles. Para que el algoritmo presentado en este documento funcione correctamente, la resolución de la fotografía debe ser de al menos 800×600 píxeles. Cabe destacar que para obtener la resolución mínima requerida de 800×600 , se requiere de una cámara con al menos 0.5 megapíxeles.

Conocer las dimensiones reales de una imagen es relevante ya que permitirá realizar medidas sobre la misma. Las medidas realizadas sobre la anatomía de un paciente permiten obtener las dimensiones reales de los segmentos de una fractura, la longitud de los huesos, el ángulo formado entre dos secciones, etc. En la próxima sección, se muestran los pasos necesarios para permitir la conversión de píxeles a milímetros de la imagen de estudio.

2. Preparación de la imagen

Para la calibración de las imágenes se utilizaron los orificios dejados por una perforadora de papel como Objeto de Referencia (OR), véase la Figura 2. La elección de dicho aparato se basó en la necesidad de utilizar un OR que este disponible en todo momento y pueda estar presente en el momento de la toma independientemente del negatoscopio a utilizar (e.g. negatoscopio general, portátil, de mural, etc.). La idea es colocar un OR en el momento de la toma y de esta forma conocer las medidas aproximadas de la imagen independientemente de la distancia de la toma y de la resolución de la cámara.

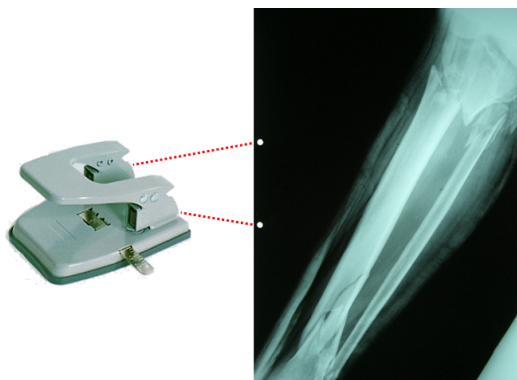


Figura 1: Perforadora de papel para crear los orificios en una placa de Rayos-X.

Dado que la perforadora de papel utilizada siempre crea los orificios en los bordes de la placa, solamente se consideran las franjas correspondientes donde posiblemente se encuentren éstas. Entonces, por cada imagen se extraen cuatro (4) subimágenes para ser analizadas y encontrar los orificios: parte superior, inferior, derecha e izquierda de la imagen. Para el caso de las subimágenes superior e inferior, el ancho corresponde al ancho de la imagen y el alto es un 10% del alto de la imagen original. Se procede de la misma forma para las subimágenes derecha e izquierda.

Para cada una de las subimágenes, se ejecuta el Algoritmo de Búsqueda de Orificios y luego el proceso de Calibración. En la siguiente sección, se explica con detalle dicho algoritmo.

3. Algoritmo de Búsqueda de Orificios

El Algoritmo de Búsqueda de Orificios permite que dada una Imagen I de entrada, dos umbrales U, T y un valor de error E , determinar la ubicación de dos orificios, creados por la perforadora de papel, dentro de I . Cabe destacar que el algoritmo necesita como entrada una imagen binaria, es decir, que utilice un solo bit por píxel en su representación (las subsecciones siguientes explican con mayor detalle este proceso). De esta forma solo existen dos colores: blanco y negro. Se asume que los círculos a buscar serán de color blanco por el contraste generado por el negatoscopio con la placa. Para conseguir la imagen binaria, se realiza un proceso de segmentación a dos niveles de I (*image binarization*). Luego de la binarización el algoritmo busca una serie de candidatos a círculos y éstos son colocados en una cola de prioridad bajo un criterio de similitud. Seguidamente, los nodos de la cola son extraídos y comparados entre sí para encontrar los que tengan mayor similitud entre ambos.

3.1. Segmentación a dos niveles

La idea de la segmentación a dos niveles es crear una imagen a dos colores (e.g. blanco y negro) dada una imagen I . El algoritmo recibe una imagen a color, como se muestra en la Figura 2A. Esta imagen es convertida a una imagen de 8-bits con paleta de colores, como se observa en la Figura 2B.

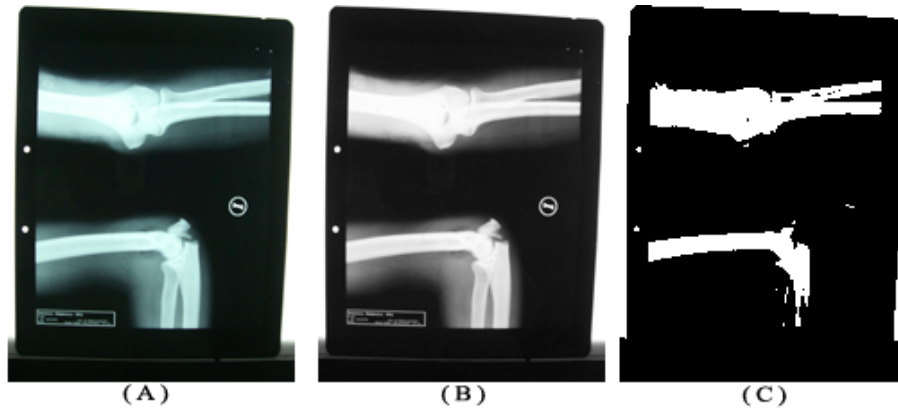


Figura 2: Etapas de conversión de la imagen original a solo dos niveles de color.

La conversión de una imagen a color a una imagen a escala de grises se realiza empleando la Ecuación 1, usando el criterio explicado en [5]. Con esta ecuación se obtiene un valor $color_{gray}$ que representa la intensidad de color (dentro del rango 0 – 255) basándose en la información de cada banda de color de la imagen original: rojo (R), verde (G) y azul (B).

$$color_{gray} = 0,299 \times R + 0,587 \times G + 0,114 \times B \quad (1)$$

Finalmente para obtener la imagen binaria I_b , como se muestra en la Figura 2C, se realiza una umbralización simple sobre el rango [200 – 220]. El valor adecuado dentro de ese rango, se selecciona de acuerdo a la proporción del color negro en la imagen. Dicho rango fue seleccionado por ser satisfactorio sobre diversas imágenes de prueba.

3.2. Búsqueda de Orificios

Una vez obtenida I_b se procede a realizar la búsqueda de los orificios. Los orificios creados por la perforadora de papel están aproximadamente a la misma distancia del borde de la placa, es decir, un orificio se encuentra en el mismo sentido vertical u horizontal del otro. Este aspecto es importante al momento de determinar la similitud entre dos posibles orificios detectados por el algoritmo.

El algoritmo de Búsqueda de Orificios, mostrado en el Algoritmo 1, selecciona una serie de ‘candidatos’ a círculos y los coloca en una cola de prioridad basado en el criterio de error mínimo. Los candidatos son seleccionados por la similitud entre sí. Por último selecciona los candidatos más similares entre sí y de esa forma obtiene los orificios.

Primeramente, el algoritmo recibe como entrada 4 parámetros explicados a continuación:

1. I_b es la imagen binaria de entrada.
2. U es la diferencia permitida entre el alto y el ancho promediado de un candidato. Cabe destacar, que ambos valores deben ser cercanos ya que se busca un círculo (no necesariamente un círculo perfecto).
3. T es la diferencia entre la longitud de los diámetros de un posible candidato en forma de círculo. El valor ideal de esta diferencia, debe ser 0.
4. E es el error máximo permitido para considerar un candidato como círculo. Si un candidato supera este valor, entonces no se considera un orificio.

Algoritmo 1 Búsqueda de Orificios

```

1: procedimiento FINDCIRCLES( $I_b, U, T, E$ ) ▷  $I_b$  = imagen;  $U, T$  = umbral;  $E$  = error permitido
2:   para cada fila  $F$  en  $I_b$  hacer
3:     para cada píxel  $P(x, f)$  de color blanco en  $F$  hacer
4:        $pN \leftarrow pS \leftarrow pE \leftarrow pO \leftarrow 0$  ▷ # de píxeles blancos en dirección Norte, Sur, Este y Oeste
5:       ciclo
6:         si  $P(x, f + 1) = \text{blanco}$  entonces  $pN \leftarrow pN + 1$ 
7:         fin si
8:         si  $P(x, f - 1) = \text{blanco}$  entonces  $pS \leftarrow pS + 1$ 
9:         fin si
10:        si  $P(x + 1, f) = \text{blanco}$  entonces  $pE \leftarrow pE + 1$ 
11:        fin si
12:        si  $P(x - 1, f) = \text{blanco}$  entonces  $pO \leftarrow pO + 1$ 
13:        fin si
14:      fin ciclo
15:      si  $p\{N|S|E|O\} > 0$  y  $|((pN + pS)/2) - ((pE + pO)/2)| < U$  entonces
16:         $d_1 = |pS - pN|$ 
17:         $d_2 = |pE - pO|$ 
18:        si  $|d_1 - d_2| \leq T$  entonces ▷ posiblemente  $P(x, f)$  es el centro de un círculo
19:           $Mask \leftarrow \text{CREATEMASK}((pN + pS)/2)$ 
20:           $error \leftarrow \text{ECM}(Mask, I_b, P(x, f))$ 
21:          si  $error \leq E$  entonces
22:             $Priority\_Queue.Add(P(x, f), (pN + pS)/2)$ 
23:          fin si
24:        fin si
25:      fin para
26:    fin para
27:  fin para
28:   $C_1, C_2 \leftarrow \text{FIND2MOSTSIMILAR}(Priority\_Queue)$ 
29:  return  $C_1, C_2$  ▷  $C_1$  y  $C_2$  son los orificios hechos por la perforadora
30: fin procedimiento

```

El algoritmo empieza recorriendo cada píxel de color blanco de cada fila con el objetivo de determinar cuál es la distancia hasta los bordes de ese posible candidato. Con estos valores, la idea es determinar cuál de éstos es simétrico con respecto a un píxel centro de círculo. Se puede observar que la Figura 3A es más irregular en proporción a la distancia a sus bordes desde el centro que la Figura 3B. Cabe destacar, que la Figura 3A no entra como candidato de orificio en el algoritmo.

Para determinar el factor de simetría de un candidato, se verifica si la distancia desde el centro hacia las cuatro direcciones cardinales tienen longitudes similares. Estas distancias son almacenadas en las variables pN, pS, pE, pO que se muestran en el Algoritmo de Búsqueda de Orificios. Al realizar esta operación en cada píxel de cada fila, permite que se utilicen los valores antes mencionados para el siguiente píxel a analizar. Por ejemplo, si estamos en la posición (x, y) al avanzar a la posición $(x + 1, y)$ sería ideal utilizar los valores pN, pS, pE, pO de (x, y) para no calcularlos nuevamente.

Para ello se construye una estructura de datos que consiste en un arreglo del tamaño de una fila donde cada celda almacena 4 valores: pN, pS, pE, pO . Con esta estructura, para los valores pE, pO de una posición (x, y) se utilizan sus adyacentes. Cuando se recorre una fila nueva, es decir la fila $(x, y + 1)$, los valores pN, pS son copiados como valores iniciales si existe un píxel blanco en esa posición con el objetivo de no contarlos nuevamente.

Con los valores pN, pS, pE, pO es posible determinar si una posición (x, y) es el centro de un candidato a orificio basados en los valores de umbral U, T . Luego, se invoca a la función `CreateMask` donde se construye un arreglo bidimensional que contiene blancos y negros, donde los píxeles blancos forman un círculo con el objetivo de hacer una coincidencia de patrones [4] (*pattern matching*) de un espacio dentro de la imagen con un círculo perfecto.

Es posible que el algoritmo retorne un solo orificio ó ninguno.

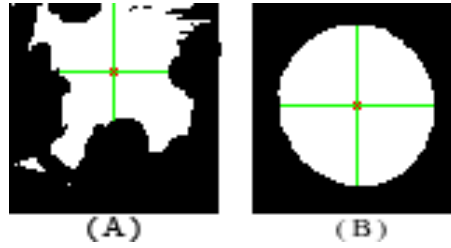


Figura 3: Recorrido en cuatro direcciones para una posición (x, y) en un posible candidato.

Al realizar la coincidencia de patrones, se calcula el error cuadrático medio [2] con la función ECM. Dicho valor de error permitirá determinar qué tan parecido fue un posible candidato a un círculo perfecto. Si el valor de este error es inferior a cierto umbral E , entonces se considera un candidato potencial. En las pruebas realizadas, se tomo como valor E un 12% de no coincidencia ya que permite considerar los casos en donde la imagen de entrada no sea de buena calidad. Posteriormente, dicha posición (x, y) con un radio de dimensión $(pN + pS)/2$ es insertada en una cola de prioridad basado en el criterio de mínimo error.

Como último paso del algoritmo, se invoca a la función `Find2MostSimilar` que recibe como parámetro a la cola de prioridad y busca el par de candidatos más parecidos. Los criterios para decidir similitud son:

- Si el candidato C_1 ocupa un área A_1 en píxeles, entonces el candidato C_2 debe ocupar un área $A_2 \pm A_1 * 0,02$.
- Si un candidato se encuentra a una distancia dx del borde de la imagen, el otro candidato debe estar a una distancia $d \leq dx * 1,5$ del mismo borde.
- La distancia entre ambos candidatos, debe ser mayor al 15% del total del lado donde se encuentran (ancho o alto) en la imagen.

Finalmente, es posible haber obtenido un solo orificio, dos orificios ó ninguno. En caso de haber obtenido ningún orificio o solamente uno, se debe proveer la opción de seleccionarlo de forma manual. En el caso de haber encontrado ambos orificios, se procede a la calibración.

4. Calibración

Una vez obtenidos ambos orificios, el proceso de calibración es trivial. Según el estándar ISO (*International Organization for Standardization*) 838 [1] publicado en 1974, titulado “*Paper — Holes for general filing purposes*”, la distancia entre los centros de cada orificio tiene una medida de $12 \pm 1mm$.

Utilizando el estándar, es posible definir está medida como la calibración para cualquier imagen. Si la distancia entre los centros de los orificios corresponde a p píxeles, entonces $p = 12mm$. Entonces, un píxel corresponde a $\frac{12}{p}mm$. Existen fabricantes de perforadores de orificios que no utilizan el estándar ISO en la fabricación de los mismos. Sin embargo, este hecho ocasionaría una calibración incorrecta. Una solución a esto, es ofrecer la posibilidad de modificar la distancia entre orificios de acuerdo al perforador de papel que se utilice, por ejemplo $12,5mm$, $13mm$, etc.

5. Conclusiones

En el presente trabajo se mostró una solución para la calibración de imágenes de placas de Rayos-X adquiridas a través de una cámara fotográfica convencional. Dicho algoritmo, depende de la utilización de un objeto de referencia al momento de adquirir la imagen y así poder realizar la correspondencia entre las dimensiones lógicas de la imagen y las dimensiones físicas de la placa de Rayos-X.

La solución desarrollada utiliza algoritmos para el procesamiento de imágenes así como algoritmos de exploración para el reconocimiento de patrones. Al utilizar como objeto de referencia una perforadora de papel, el objeto a buscar dentro de la imagen siempre serán dos orificios. Este factor permitió restringir el dominio espacial dentro de la imagen, con el objetivo de hacer una rápida inspección en la búsqueda de los orificios. Al

mismo tiempo, no se requiere de equipos especiales por parte de los médicos radiólogos al momento de tomar las imágenes para su posterior planificación preoperatoria. El médico requerirá solamente la placa de Rayos-X, un negatoscopio, una cámara digital y una PC. Esto es una alternativa a otros equipos de mucho mayor costo, como un escáner DICOM o una máquina de Rayos-X completamente digital.

Los algoritmos desarrollados forman parte del esquema desarrollado en [3] para ser empleados como una solución de bajo costo en Centros Hospitalarios. Es por ello, que la velocidad de ejecución y consumo de pocos recursos computacionales es ideal para garantizar su utilización en PC convencionales sin restricciones de hardware.

Cabe destacar que las imágenes adquiridas son tomadas por la cámara fotográfica ubicada justo al frente de la placa de Rayos-X que se encuentra sobre un negatoscopio para lograr un buen contraste. Esto se hizo con el objetivo de minimizar la distorsión creada por la visión perspectiva que la cámara genera. También, se consideró no realizar la adquisición de la imagen a una distancia mayor a $1m.$, con el objetivo de obtener una imagen donde la placa de Rayos-X ocupe la mayor proporción de píxeles.

6. Trabajos Futuros

Actualmente el algoritmo de búsqueda de orificios utiliza un esquema de memorización para no recorrer nuevamente las posiciones donde se encuentran píxeles blancos. Con este esquema, la velocidad del algoritmo se ve beneficiada pero no el espacio requerido. En el peor de los casos, la cantidad de espacio requerido corresponde a la totalidad de píxeles existentes en la imagen, considerando que la imagen es completamente blanca. Para resolver este problema, se debe realizar una verificación que descarte estos casos para no ser evaluados.

En el algoritmo, el valor de segmentación a dos niveles se realiza empleando una umbralización simple basada en la cantidad de píxeles en color negro que existe en la imagen. Un mejor enfoque sería utilizar otro tipo de segmentación a dos niveles basado en patrones dado que se quiere buscar orificios.

Referencias

- [1] ISO, International Organization for Standardization. <http://iso.org/>.
- [2] E., Lehmann y Casella G.: *Theory of Point Estimation*. Springer, 1998.
- [3] E., Ramírez: *Planificación Preoperatoria Digital en Traumatología*. Informe técnico 2009-7, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Abril 2009.
- [4] G., Pajares y De La Cruz J.: *Visión por Computador: Imágenes digitales y aplicaciones*. Ra-Ma Editorial, 2001.
- [5] S.E., Umbaugh: *Computer Imaging: Digital Image Analysis and Processing*. Taylor & Francis Editorial, 2005.