

Reporte final: Segmentación y análisis del fémur en radiografías

1st Leonard Stuart Burgos Jiménez 2st Orlando Abaunza Ubaque

dept. Ingeniería de Sistemas
Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia

Resumen—En el presente documento se busca dar a conocer los resultados obtenidos tras la implementación de un programa cuya función es la de segmentar el hueso fémur en radiografías de tipo anteroposterior de pelvis bilateral, para su posterior procesamiento, calculando medidas morfológicas que servirán de apoyo para la realización de intervenciones quirúrgicas.

Index Terms—Segmentación de imágenes, radiografía, fémur, cuello del fémur, ángulo cervicodiafisario

segmentación Umbralización manual, Filtro Otsu, Watersheed, Contornos Activos y Growcut para determinar la efectividad de cada una de estas a la hora de identificar el fémur, llevando a cabo un análisis empírico para determinar si la segmentación fue correcta o no. Los resultados dan evidencia que el método Growcut es el que presenta mejor precisión de segmentación, mientras que la técnica de "Watersheed da resultados poco factibles para este contexto.

I. INTRODUCCIÓN

El procesamiento y análisis de imágenes médicas es uno de los temas que toma cada vez más fuerza a causa de la digitalización de la toma de exámenes médicos. Es por esto que es de vital importancia el llevar un análisis adecuado para dar un diagnóstico correcto y así garantizar el bienestar del paciente. En esta oportunidad, se da a conocer el proceso llevado a cabo para construir un programa encargado de segmentar el fémur en radiografías para su posterior procesamiento. El presente documento abarca en primer lugar las soluciones existentes para la segmentación y caracterización de hueso en radiografías. Posteriormente, se da a conocer la solución propuesta junto con las herramientas utilizadas para su realización. Acto seguido, se da evidencia de los resultados obtenidos para cerrar finalmente con las conclusiones y los trabajos futuros sugeridos.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Existe una gran variedad de estrategias para llevar a cabo la segmentación de radiografías. Kazeminia [KKM⁺15] da a conocer una estrategia de filtrado para identificar los bordes del fémur mediante la aplicación secuencial de un filtro de preservación de bordes, detección de bordes y el identificar picos de intensidad en cada una de las filas de la imagen, para así trazar el borde que define al hueso en cuestión. Por otra parte, Cernazanu [CGH13] da a conocer una aproximación basada en el uso de redes neuronales para segmentar huesos en radiografías de tórax sin la necesidad de intervención humana. Los resultados mostrados en el artículo dan a conocer que esta técnica es bastante precisa tras haber pasado por un proceso de entrenamiento bastante extenso (alrededor de 4 horas de entrenamiento). Finalmente, Jacob y Wyawahare [JW13] hacen un análisis comparativo de las técnicas de

III. TÉCNICA PROPUESTA

Analizando a detenimiento las técnicas implementadas en la revisión bibliográfica, ninguna de estas incluye el brindar una aproximación de las características morfológicas del fémur tales como el **diámetro del canal endomedular femoral** y el **ángulo cervicodiafisario**, los cuales se describen en la siguiente figura:

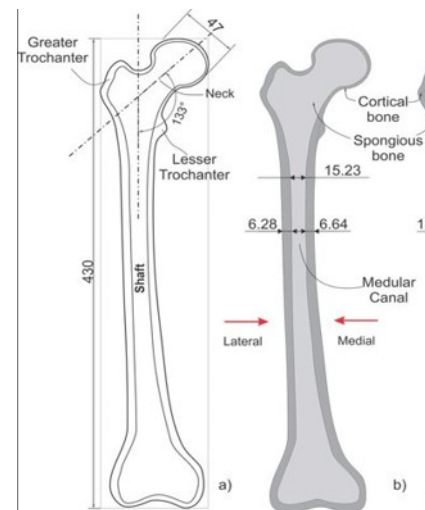


Figura 1. Características morfológicas del fémur

Considerando esto, la técnica propuesta consiste en filtrar el fémur en radiografías para así llevar a cabo una estimación de las características morfológicas previamente mencionadas. La técnica se basará en la aplicación de diversas técnicas de filtrado para extraer los contornos del hueso lo mejor posible y así llevar a cabo las respectivas mediciones.

IV. IMPLEMENTACIÓN

Para crear la técnica propuesta, se utilizó como base la librería de procesamiento de imágenes **OpenCV** la cual ofrece un conjunto de técnicas predefinidas que son fáciles de incorporar. El modelo consiste en un programa construido en **Python** el cual recibe como entrada una imagen ya sea en formato DICOM o jpg, la imagen se carga en memoria y se da paso a la etapa de preprocesamiento, en donde se aplican las técnicas de filtrado ilustradas en el siguiente diagrama:

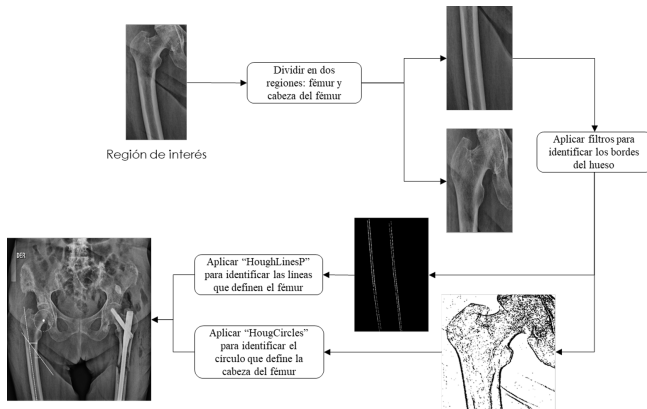


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso elaborado para filtrar el fémur

Dentro del diagrama se puede destacar la etapa de aplicación de filtros a la imagen de entrada, ya que estos ayudan a destacar las características relevantes del hueso tales como bordes y contornos. En los diagramas expuestos en las figuras 3 y 4 se dan a conocer los filtros empleados para cada una de las dos regiones de interés definidas: la cabeza del fémur y el diáfisis o cuerpo del fémur.

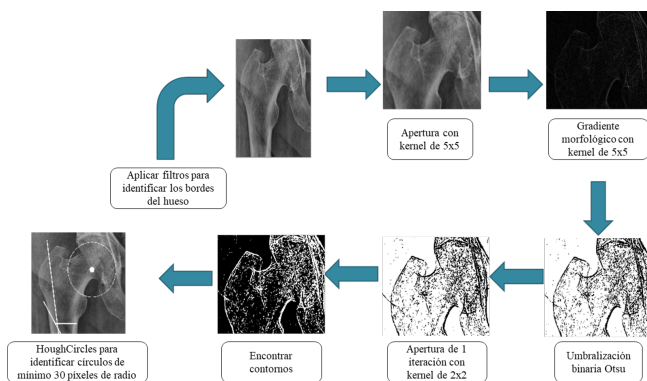


Figura 3. Proceso de filtrado para la cabeza del fémur

Respecto al filtrado de la cabeza del fémur, se buscaron filtros que ayudaran a resaltar sus bordes, aplicando técnicas de apertura, gradiente morfológico, umbralización y finalmente la detección de contornos. La imagen resultado del proceso de filtración se entrega al algoritmo **HoughCircles** para así identificar el centro del círculo que describe la cabeza del fémur. Además se identificó el eje del cuello del fémur a partir de la línea que describe la pared inferior de este, encontrada

mediante el algoritmo **HoughLinesP**, eligiendo la línea cuya inclinación fuese negativa y estuviera más cercana al centro del círculo que describe la cabeza del fémur.

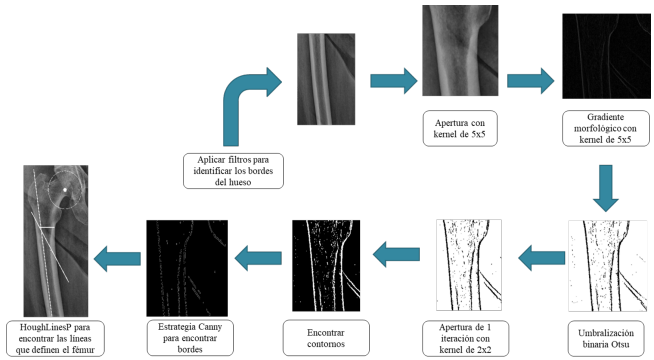


Figura 4. Proceso de filtrado para el fémur

Para el caso de filtrado del cuerpo del fémur, al igual que el filtrado de la cabeza, se buscó aplicar filtros que resaltarán sus bordes. Sin embargo, al final del proceso se lleva a cabo la detección de bordes por medio de la estrategia Canny y se procede a detectar las líneas que tienen una pendiente mayor a cero y que mejor definen a los bordes identificados. Estas líneas son utilizadas posteriormente para el cálculo del diámetro del canal endomedular femoral. El eje del cuerpo del fémur corresponde a la pared exterior del cuerpo del fémur, que se encuentra más cerca del eje y, es decir con coordenadas x más cercanas a 0.

Una vez se tienen las líneas y círculos que mejor definen el fémur, se procede a elaborar el cálculo de las características morfológicas de la siguiente manera:

- **diámetro del canal endomedular femoral:** Basándonos en el promedio de las dimensiones del fémur de acuerdo a Michal Polgaj [MP13], que señala que el promedio para mujeres del diámetro transversal del fémur oscila entre los 32.5 más o menos 2.3 mm y para hombres de 33.1 mm, se toma el valor mínimo de 30.2 mm para contemplar la mayoría de casos y se divide entre la tasa de conversión a píxeles propia de la imagen DICOM para obtener el equivalente de píxeles, para luego determinar que la cara interna de la pared externa del cuerpo del fémur estará a una distancia no menor a 2.84 mm o 20 píxeles del eje externo del fémur, por lo que se busca la línea con mayor distancia a este valor, en píxeles, e inferior al diámetro máximo promedio sumado a esta distancia mínima. El diámetro mínimo se determina buscando la línea con la mínima distancia al eje interno de la pared del fémur, mientras el diámetro máximo del canal se determina a partir de realizar una nueva subdivisión, esta vez en la sección del cuerpo del fémur por la mitad vertical, es decir del eje y, debido a la forma de arco del cuerpo del fémur que tiende a abrirse hacia arriba, es decir hacia la cabeza o la parte superior de la imagen, de modo

que el diámetro mínimo estará en la parte inferior y el diámetro máximo en la parte superior, permitiendo buscar el máximo entre las líneas de la mitad superior mediante la técnica de Hough. Esta nueva segmentación se realiza debido a la poca claridad y definición en las líneas de las paredes internas del fémur.

- **ángulo cervicodiafisario:** El ángulo cervicodiafisario está formado por el eje del cuello femoral que une a la cabeza femoral con el eje de la diáfisis (cuerpo) femoral [MJAVK10]. El ángulo se determina mediante la suma de los ángulos del eje del cuerpo del fémur y del eje de la cabeza del fémur. Primero se calculó el ángulo entre el eje del fémur y el eje x mediante el arcotangente de los catetos del triángulo formado por las componentes X y Y de dicho eje. El ángulo de la cabeza del fémur se obtiene de la misma manera tomando como referencia el eje X. Finalmente, para obtener el valor de los ángulos se aplica la función $\text{math.atan2}(y,x)$ de Python, la cual retorna un número entre -180 y 180, siendo positivo si la línea que se calcula esta en los cuadrantes 1 o 2, y negativo si esta en los cuadrantes 3 o 4, por lo que el ángulo final estará determinado por esto, sumándole 360 si es necesario.

V. RESULTADOS OBTENIDOS

Para validar la efectividad del modelo construido, se procedió a analizar 8 radiografías en formato DICOM, de las cuales 4 están la posición y región apropiada y las otras 4 presentan anomalías, como fracturas en los huesos o clavos internos. A través de la medición manual de los casos mediante el programa Miele XLVI [Mie21], se comparó con los resultados obtenidos por el programa desarrollado en este proyecto, considerando como buena una medida, si existía una diferencia en la medición menor al 10 %.

De acuerdo a esto se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Concordancia de las líneas obtenidas con las paredes del fémur:** La línea de la cara externa del cuerpo del fémur en 9 de cada 10 veces fue segmentada de manera correcta. Sin embargo, la línea del eje interno es mucho menos acertada ya que depende en gran medida de la segmentación o recorte inicial.
- **Concordancia de la cabeza femoral:** La semicircunferencia y el centro de esta que describen la cabeza del fémur fue segmentada en 9 de cada 10 veces de manera correcta en la medida que el recorte inicial sea elegido tomando la región de interés.
- **Diámetros endomedulares:** Los diámetros máximo y mínimo del canal endomedular del fémur fueron encontrados de una manera buena en la mitad de las pruebas, dependiendo en gran medida de la segmentación inicial, ya que entre más ítem **Precisión ángulo cervicodiafisario:** El cálculo de este ángulo es correcto en la medida que los ejes de la cabeza del fémur y del cuerpo sean correctos. Partiendo de esto, el cálculo siempre fue

correcto cuando se encontraron bien definidos dichos ejes.

Un ejemplo de una correcta medida de todos los datos se puede observar en la figura 5:

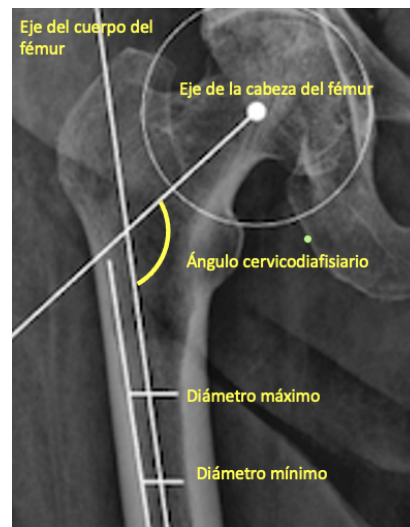


Figura 5. Resultado segmentación y análisis fémur

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Si bien este proyecto abarca un tipo de radiografía particular que debe tomarse en una posición específica, debe considerarse más variantes en la posición y/o formas en la que puede llegar el fémur, ya que dependen del cuerpo humano mismo, es decir, tomar en cuenta los casos que están por fuera del promedio.
- El resultado de las medidas y de la segmentación resulta bueno para los casos promedio de personas relativamente sanas, es decir sin enfermedades osteomusculares que deformen la estructura del fémur, de manera que hace falta tener en consideración estos casos particulares.
- La manera de validar la efectividad el modelo es en si misma poco efectiva puesto que al depender del criterio personal, no existe un método o técnica precisa que permita asegurar que una medida es correcta o no, ya que el personal médico debe realizar la medición de todos los puntos de forma manual y en base a su criterio, que de por sí es lo que se busca solucionar con este proyecto.
- La precisión de la segmentación y determinación de las medidas del fémur dependen en gran medida de la segmentación inicial, de manera que es necesario desarrollar un método automatizado con el objetivo de reducir el error humano.
- Este trabajo solo abarca el calculo para el fémur derecho, por lo que es necesario replicar los cálculos para el otro costado.
- Como trabajo futuro se sugiere abordar la solución mediante otras técnicas como redes neuronales.

REFERENCIAS

- [CGH13] Cosmin Cernazanu-Glavan and Stefan Holban. Segmentation of bone structure in x-ray images using convolutional neural network. *Adv. Electr. Comput. Eng.*, 13(1):87–94, 2013.
- [JW13] Nathanael E Jacob and MV Wyawahare. Tibia bone segmentation in x-ray images-a comparative analysis. *International Journal of Computer Applications*, 76(9), 2013.
- [KKM⁺15] S. Kazeminia, N. Karimi, B. Mirmahboub, S.M.R. Soroushmehr, S. Samavi, and K. Najarian. Bone extraction in x-ray images by analysis of line fluctuations. pages 882–886, 2015.
- [Mie21] Miele. Miele-lxiv: Open source. 2021.
- [MP13] Kazimierz Jedrzejewski Agata Majos Michał Polgaj, Katarzyna Maria Bliźniewska. Morphological study of linea aspera variations - proposal of classification and sexual dimorphism. 2013.
- [MJAVK10] Raúl Álvarez San Martín **José Antonio Velutini Kochen. Anatomía de la cabeza femoral humana. 2010.