

Imágenes Biomédicas

Proyecto Parcial

Joel Chacón Castillo

Guanajuato, México

1. Introducción

2. Estructura del proyecto

El área de investigación para procesamiento de imágenes es de gran importancia pues debe crecer en relación al capacidad tecnológica. Una de los principales líneas de investigación en relación al procesamiento de imágenes es el área biomédica. En consecuencia ha surgido la necesidad de desarrollar procesos computacionales que sirvan como herramientas de apoyo hacia los profesionales de cada área. En este proyecto parcial se desarrollan y ensamblan una serie de técnicas para el procesamiento de imágenes biomédicas, particularmente arterias coronarias. El procedimiento consta de los siguientes pasos:

- Detección y Segmentación.
- Adelgazamiento o esqueletonización.
- Compresión y Modelado.
- Reconstrucción.

Cada sección previamente mencionada es analizada de forma independiente con la finalidad de obtener un diseño final sólido. En general se cuentan con 20 imágenes de arterias coronarias de entrenamiento y 10 imágenes de prueba.

2.1. Detección y Segmentación

En esta sección se aplica un procedimiento a la imagen en escala de gris con el propósito de resaltar las características más importantes en la imagen. En particular las características de interés en este conjunto de imágenes consiste de arterias coronarias. En esta sección se prueban dos filtros clásicos y ampliamente utilizados en la literatura. Primeramente, el "top-hat" (definiciones y referencias en tareas anteriores), este filtro es muy utilizado y su definición es simple, sin embargo depende fuertemente de la geometría y configuración considerada en la estructura elemental.

Un filtro muy utilizado para resaltar características con forma tubular son los filtros Gaussianos. El método de los filtros Gaussianos combinados *Gaussian Marched Filters - GMF* fue propuesto originalmente por Chaudhuri et al, con el propósito de detectar vessels en imágenes de la retina. Este procedimiento consiste en construir una serie de filtros que son basados en una función exponencial, y además son aplicados bajo distintas orientaciones con el propósito de resaltar las características tubulares de la imagen.

2.2. Experimentación en la sección de detección

En base a estos dos métodos se realizaron calculó el area bajo la curva roc *Receiver Operating Characteristic* - AUC. Inicialmente se ajustó la parametrización requerida en cada método con el conjunto de entrenamiento (20 imágenes) y se probó con el conjunto de prueba (10 imágenes). En el caso del conjunto de prueba se utiliza el método de Otsu para la segmentación de la imagen. En el conjunto de entranmiento se utiliza el umbral que corresponde a la curva de ROC cuyo punto está más cercano del punto (0,1) como es ampliamente sugerido en la literatura. En base a un análisis previo se aplicó se consideraron las siguientes configuraciones:

- **Top Hat:** elemento estructurante del tipo cuadrado con 29 por lado.
- **GMF:** Ancho(L)-15, Largo(T)-15, rotaciones(k)-12, Apertura(σ) = 2.4.

Adicionalmente, se probaron dos cambios, el primero consiste en un mejoramiento de contraste local de la imagen previamente a su proceso de detección. El segundo cambio consta de una normalización después de la detección, esto es útil pues al convolucionar el filtro Gaussiano en resultado pueden generar inconsistencias numéricas.

En la tabla 1 se puede observar que el mejor resultado que se obtiene con el conjunto de entrenamiento y con el conjunto de prueba es de 0,9325 y

0,9290 respectivamente. Además en base a estos resultados se puede observar que al combinar tanto la normalización como el mejoramiento del contraste tiene en resultado una mejor imagen.

Method	AUC-Training	AUC-Test
GMF	0.8833	0.8961
Top Hat Square (29)	0.8632	0.8973
GMF + Normalized	0.7648	0.8198
GMF + Local_Contrast_Enhancement	0.8885	0.8957
GMF + Normalized + Local_Contrast_Enhancement	0.9325	0.9290

Cuadro 1: Resultados del proceso de detección

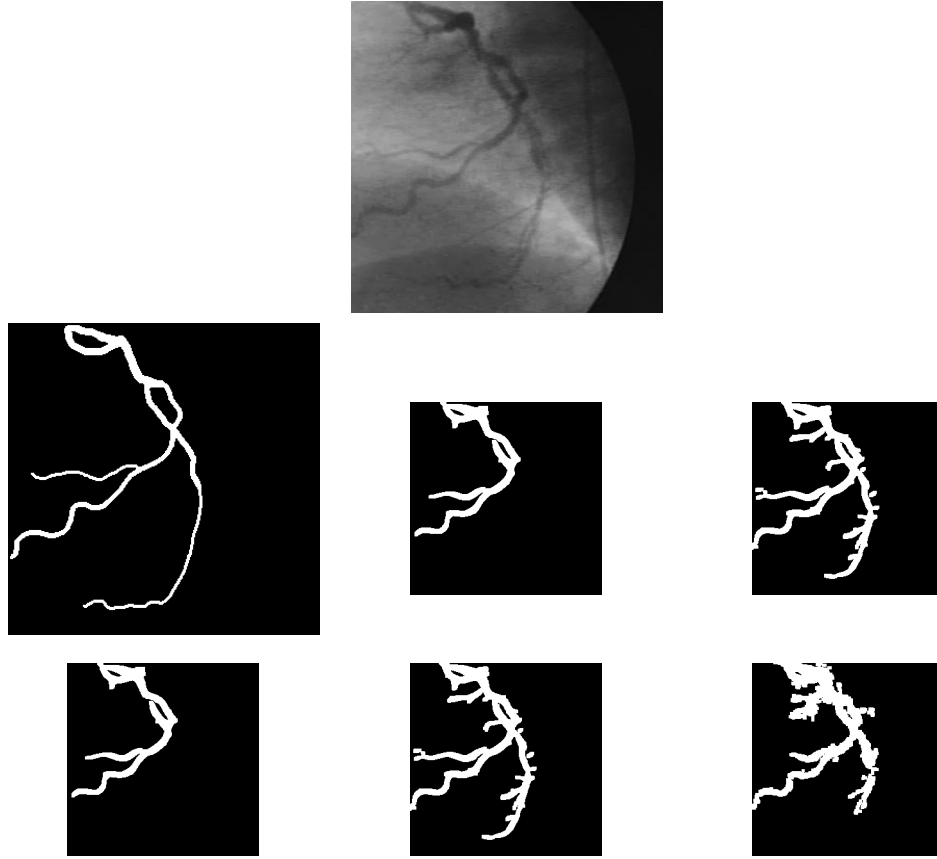


Figura 1: Detección y segmentación. En la primera fila se encuentra la imagen original, en la segunda fila esta el GroundTruth, GMF, GMF con mejoramiento de contraste local, en la última fila está el GMF normalizado, el GMF normalizado y con mejoramiento local de contraste y el que corresponde al Top Hat.

2.3. Esqueletización

En la parte de la Esqueletización se verificaron dos métodos que se indican en la función 'bwmorph' del entorno de MATLAB. Primeramente con 'skel' $bwmorph(Image, 'skel', Inf)$; sin embargo se observa que la forma resultante es inestable. Por otra parte el parámetro 'thin' resulta más estable $bwmorph(Image, 'thin', Inf)$; por lo tanto es utiliza en todo el procedimiento. En la figura 2 se puede observar el efecto de utilizar 'skel' en la parte izquierda y utilizar 'thin' en la parte derecha, en este último se observan menos imperfecciones.

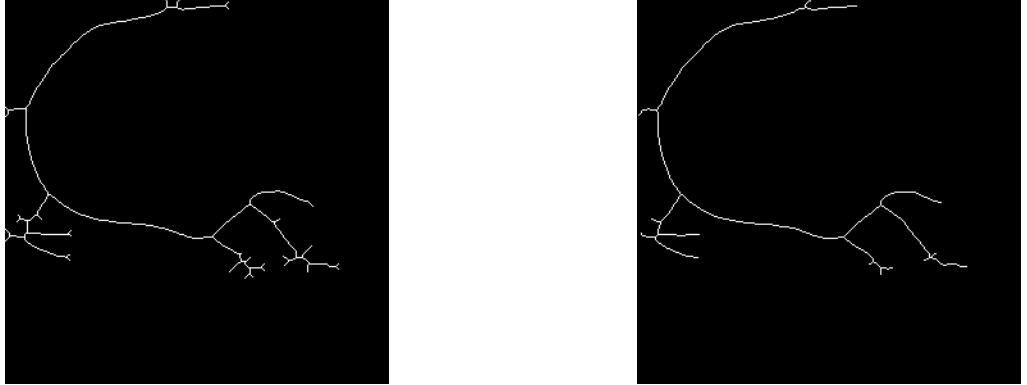


Figura 2: Esqueletonización, en la parte izquierda utilizando 'skel' y en la parte derecha con 'thin'.

2.4. Compresión

Para simplificar el procedimiento de compresión, se divide el esqueleto en componentes, cada componente es definido como una curva con un único punto inicial y un punto final sin ninguna bifurcación. La división en componentes es aplicado por medio de una serie de operaciones que involucran ubicar los 'branchpoints' y los 'endpoints' con la función 'bwmorph'.

En el proceso de compresión se contemplan tres métodos:

- B-Splines o Basis Spline.
- Ramer-Douglas-Peucker.
- Features-Detection.

2.4.1. B-Splines

Para el ajuste de los puntos de control en esta aplicación se aplica el método de mínimos cuadrados no lineal, resolviendo un sistema de ecuaciones. La ventaja principal de utilizar un B-Spline es que una curva puede ser expresada en base los puntos de control los cuales pueden ser significativamente menos. Otra ventaja es que en los B-splines no es requerido el criterio de unicidad, cosa contrario que con los splines usuales. Una curva B-Spline está definida por tres cosas:

- Puntos de control.
- El orden de la curva.
- Un vector de nudos.

Una curva es definida con una serie de polinomios. El número de polinomios requeridos para definir una curva depende en el número de puntos de control y el orden de la curva. El vector de nudos determina en que parte del rango de parámetros inicia y termina un polinomio. Es decir, los nudos determinan que tan juntos o ajustados deben ser los polinomios. Algunas importantes a considerar al aplicar B-Splines:

- El número de puntos de control que definen una curva debe ser igual o mayor al orden de la curva, por ejemplo una curva cuadrática (orden=3) debería tener al menos tres puntos de control.
- El número de elementos en el vector de nudos siempre debe ser igual al número de puntos de control más el orden de la curva, por ejemplo una curva cúbica ($k=4$) con cuatro puntos de control tiene ocho elementos en el vector de nudos.
- El orden de la curva debe ser al menos dos (líneas).
- Los valores del vector de nudos deben ser ordenados de forma ascendente.

En la figura 3 se pueden observar el orden de los polinomios.

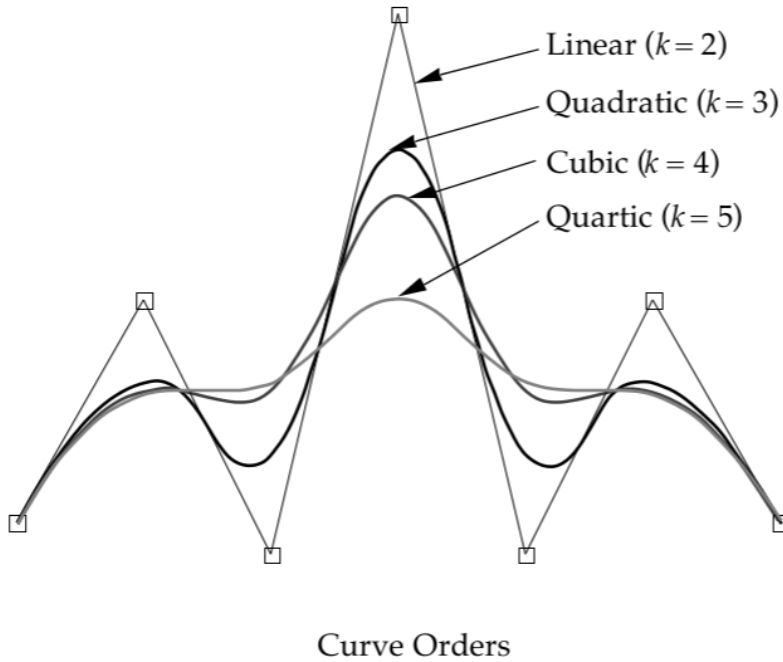


Figura 3: Curvas del B-Spline.

Particularmente, en esta aplicación se consideran curvas de grado 6, es importante mencionar que este orden puede cambiar y no afecta mucho el desempeño en la regeneración de la curva. El tipo de vector de nudos considerado es conocido como *pinned uniform*, donde la curva pasa por el primer punto de control y termina en el último punto de control. Los puntos de control intermedios no pasan están ubicados en la curva, pero sí cerca de la curva. Si el número de puntos de control es igual al orden entonces el efecto de mover cualquier punto de control cambia la forma de la curva completa. Por otra parte si se tienen más puntos de control que el orden, entonces un movimiento de un punto de control sólo afecta a la región de la curva que está próxima a ese punto de control (mejor conocido como control local). El formato de tipo *pinned uniform* de los elementos del vector de nudos y teniendo un orden k , es que los primeros k elementos del vector de nudos deben tener mismo valor, entonces los valores de los nudos incrementan de forma uniforme hasta que los últimos k nudos los cuales también deben permanecer iguales. Finalmente, el algoritmo de detección de esquinas aplicado a cada componente realiza una compresión interesan del esqueleto, esto es

útil si se deseara realizar tracking del esqueleto dado un conjunto de frames.

2.4.2. Experimentación

En la figura 4 se pueden observar los puntos representativos de utilizar cada uno de los tres métodos. Aunque el método de modelación por B-Spline (parte superior izquierda) requiere un mayor número de puntos de control que el RDP (parte superior derecha) en la siguiente sección se podrá ver el método B-spline tiene una capacidad superior para regenerar el esqueleto y por lo tanto se puede decir que los puntos de control del B-spline representan de mejor la curva (esto depende de la aplicación que se le quiera dar a los puntos).

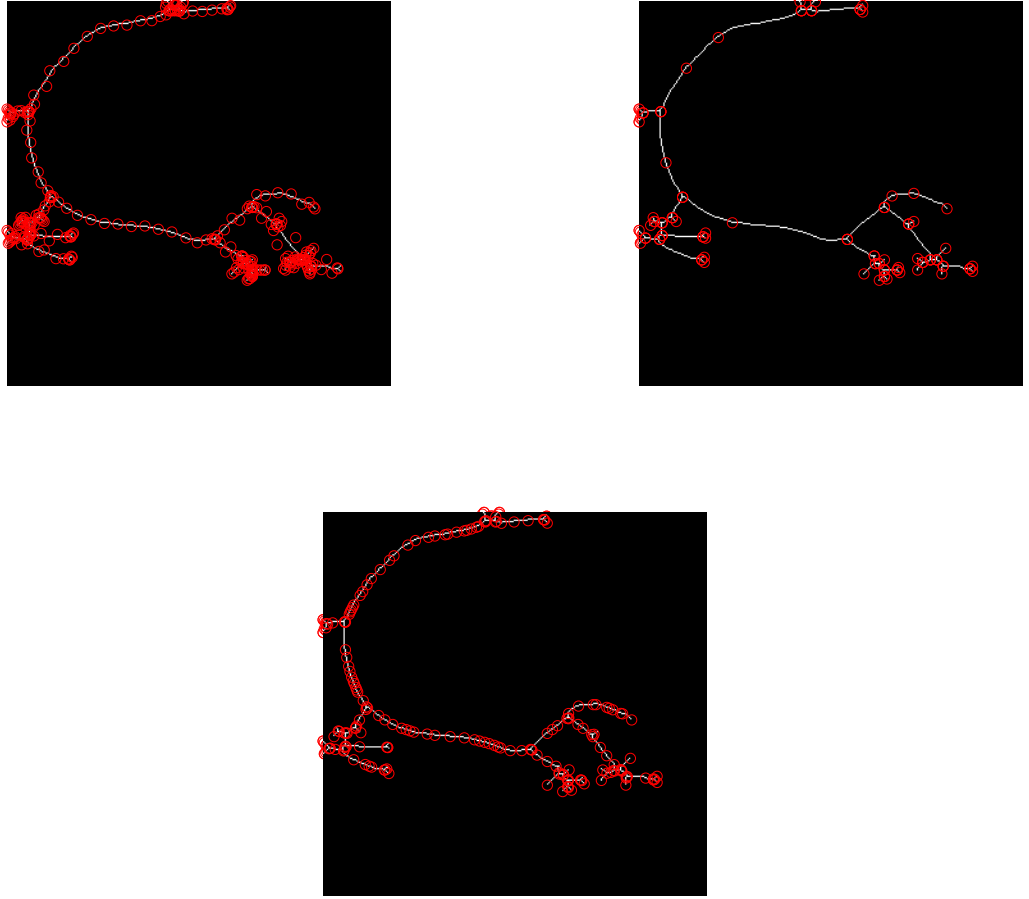


Figura 4: Puntos representativos de los esqueletos. Los círculos rojos indican los puntos representativos. En la primera imagen se consideran los puntos de control obtenidos al aplicar una modelación con el B-Spline, en la segunda imagen los círculos corresponden al algoritmo de RDP con un epsilon de 4, y la última imagen corresponde al algoritmo de detección de esquinas propuesto por [1]

2.5. Modelado

Una vez obtenidos los puntos de los esqueletos se aplica una interpolación con B-splines. En la figura 6 se puede observar la diferencia de utilizar cada uno de los tres métodos. Por su parte el RDP genera un forma punteada debido a que el número de puntos identificados en las curvas es muy pocos, en

resultado la reconstrucción es altamente afectada. Esto se puede observar en la tabla 2 donde se muestra la medida de correlación entre el esqueleto original y el esqueleto reconstruido. Principalmente, el método RDP tiene los peores resultados en el conjunto de entrenamiento. El método de reconstrucción por B-Splines genera las mejores métricas tanto en el conjunto de entrenamiento como en el conjunto de prueba.

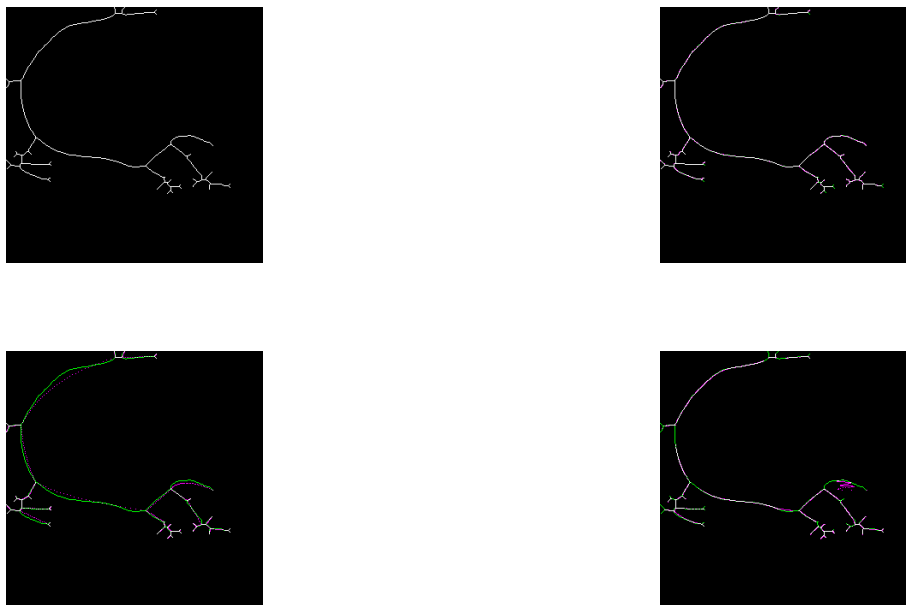


Figura 5: Esqueletos reconstruidos con splines. En color blanco las regiones en que conciden los esqueletos, en verde el esqueleto original y en morado el esqueleto interpolado. En la parte superior izquierda está la imagen donde se considera el esqueleto obtenido, en la parte superior derecha la imagen reconstruida cuyos puntos de control se obtuvieron mediante B-splines, en la parte inferior izquierda el esqueleto generado con los puntos del algoritmo RDP, y en la parte inferior derecha el esqueleto generado con los punto del algoritmo de detección de esquinas.

Method	Correlation Training	Jaccard-Distance Training	Correlation Test	Jaccard-Distance Test
B-splines	0.8634	0.2394	0.8663	0.2355
RDP	0.3474	0.7860	0.7843	0.3512
Corners-Detector	0.5382	0.6265	0.5318	0.6327

Cuadro 2: Resultados numéricos de comparar el esqueleto y la reconstrucción o interpolación del esqueleto resultante.

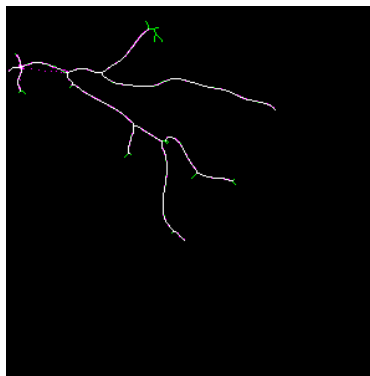
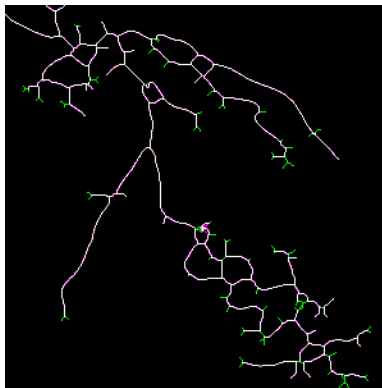
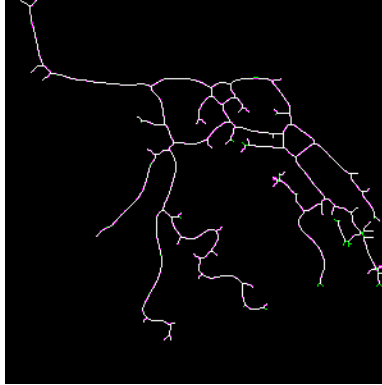


Figura 6: Esqueletos reconstruidos con splines. En color blanco las regiones en que conciden los esqueletos, en verde el esqueleto original y en morado el esqueleto interpolado. Todos generados y reconstruidos con B-Splines.

3. Tracking (Inconcluso)

Bajo este mismo esquema se desea realizar un procedimiento de tracking. Inicialmente es necesario utilizar un procedimiento para obtener los puntos de interés, en este caso se analizan los tres previamente descritos (puntos de control del B-spline, RDP y corners extraction). Para este análisis visual, cada método es ilustrado en una imagen distinta, cada imagen está compuesta por el conjunto de puntos de extraídos y además cada color indica un frame distinto. Principalmente, se puede observar que

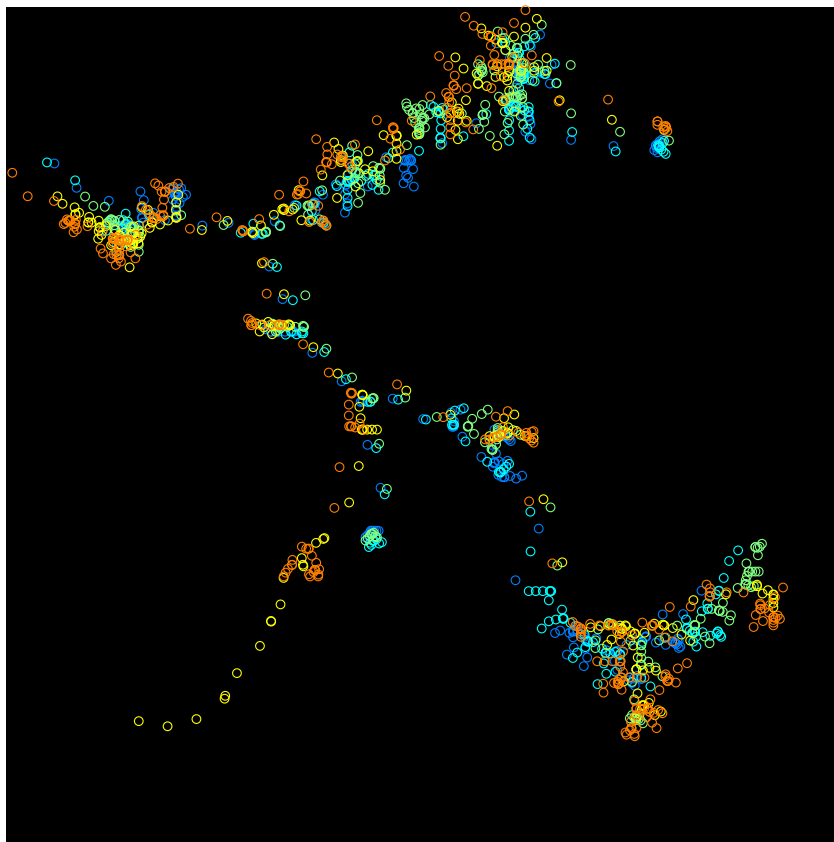


Figura 7: Graficación de los puntos de control con el algoritmo B-SPLINES.

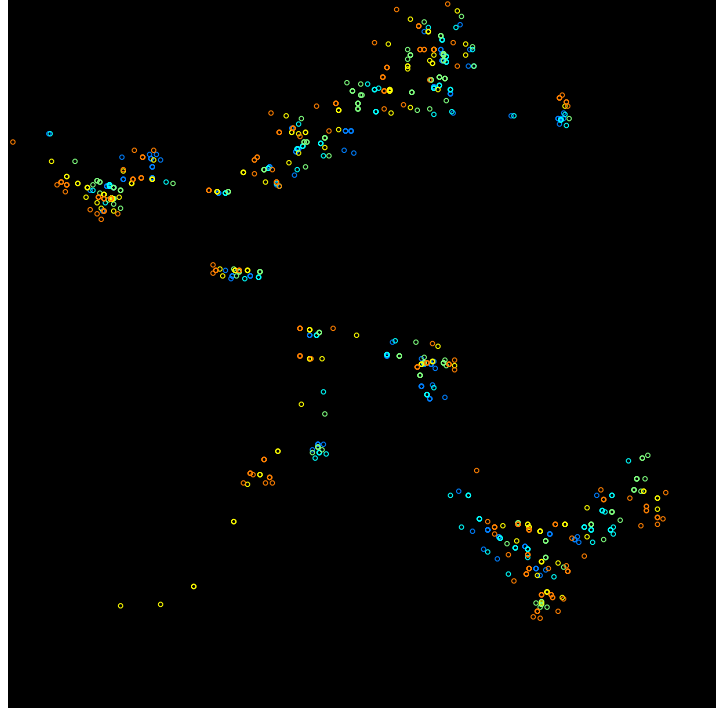


Figura 8: Graficación de los puntos de control con el algoritmo RDP.

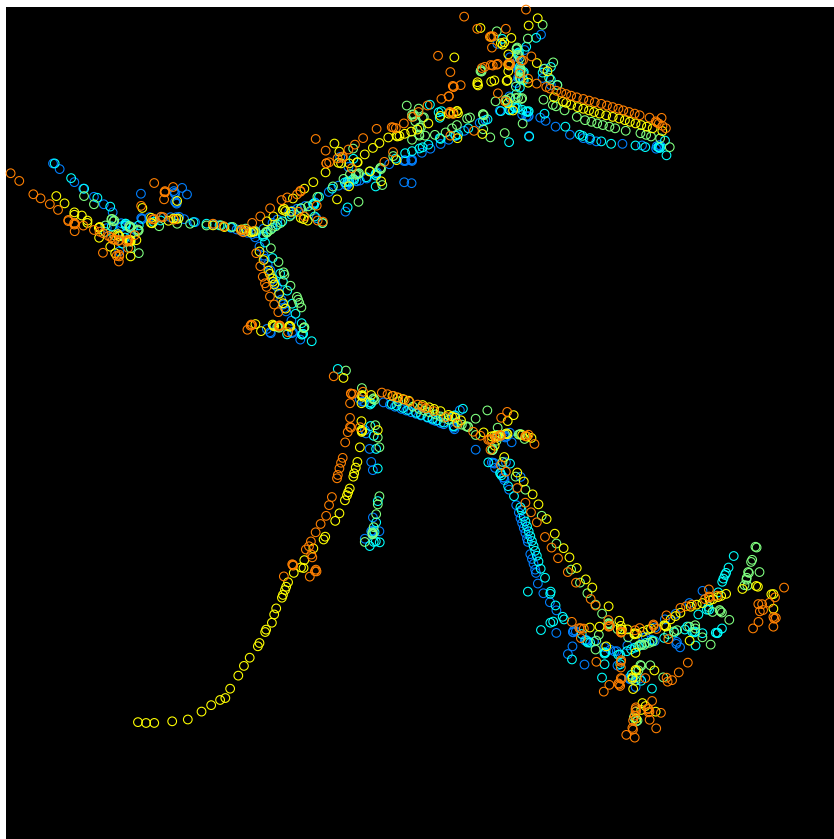


Figura 9: Graficación de los puntos de control con el algoritmo de detección de esquinas.

En la tabla 3 se muestra la correlación que existe entre los frames¹, la correlación se toma en base a imágenes compuestas únicamente los puntos de cada método (sin interpolar). El método B-Spline mantiene una menor variación de la correlación entre los frames, además en promedio posee una mayor correlación, esto quiere decir que los puntos seleccionados por este método modelan de forma adecuada y deseada

¹cinco en total se quito uno por inconsistencia en la numeración

Frames	B-Spline	RDP	Corner Features
1-2	.0187	.0000	.0305
2-3	.0085	.0130	.0125
3-4	.0204	.0000	.0110
4-5	.0255	.0208	.0131
Mean	.0183	.0085	.0168
Std.	.0071	.0103	.0092

Cuadro 3: Correlación de los puntos entre los frames

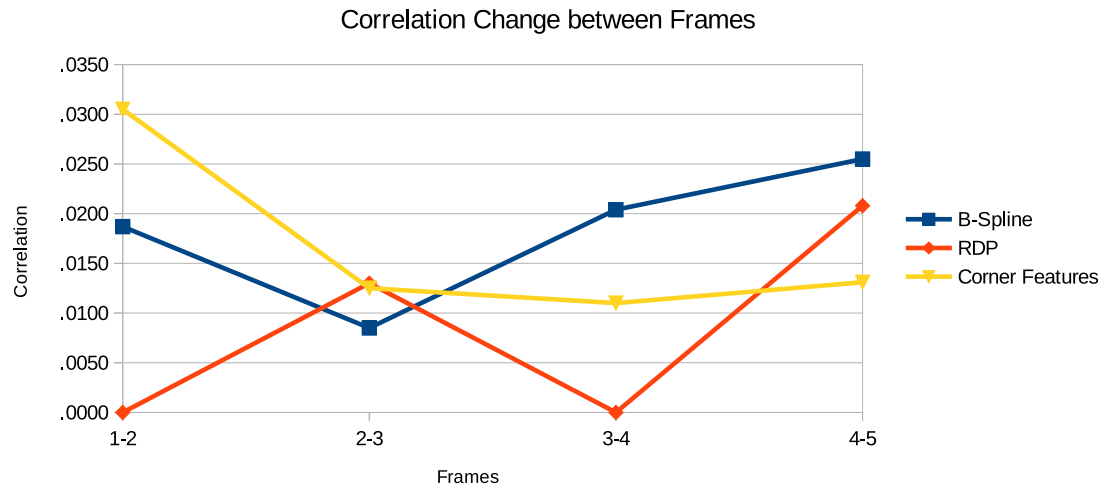


Figura 10: Graficación de la correlación en cada transición de los frames.

3.1. Conclusión

En este proyecto se aplicó un esquema en el ámbito de imágenes biométricas con los siguientes propósitos:

- Implementar un método para la detección de características tubulares en imágenes biomédicas.

- Esqueletizar una imagen y extraer los puntos con mayor importancia en la forma de la arteria.
- Dados los puntos de esa arteria se volvió a ensamblar el modelo esqueletizado.
- Ilustrar la factibilidad de los métodos para extraer los puntos de importancia para realizar el procedimiento de tracking.

Se observó que para el procedimiento de detección de venas coronarias los filtros Gaussianos tienen un buen rendimiento, sin embargo existe inconvenientes como son características similares a las arterias que pueden tener un efecto negativo en todo el procedimiento, una forma para suavizar el efecto negativo del ruido es procesando el contraste de la imagen de forma local, no obstante se cree que puede existir un mejor mecanismo para realizar la detección de las venas en base a la forma de las venas. El mejor método para descompresión de formas es el que está basado en B-Splines, el principal inconveniente de esto es la cantidad de puntos requeridos para realizar este proceso.

- ¹ [1] J. Shi, C. Tomasi, Good features to track, Technical Report, Cornell
- ² University, 1993.