

ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE FILTROS EN EL PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN 3D DE LAS ARTERIAS CORONARIAS

*Alexandra La Cruz, **María Blanca Ibañez

*Estudiante de Postgrado, Grupo de Bioingeniería y Biofísica Aplicada, e-mail: alacruz@gbba.usb.ve

**Dpto de Computación, Grupo de Paralelismo, e-mail: ibanez@usb.ve

Valle de Sartenejas Universidad Simón Bolívar Apartado 89000, Caracas 1080-A, Venezuela,

RESUMEN

El proceso de reconstrucción 3D de las arterias coronarias a partir de dos proyecciones biplanas, es un problema de múltiples soluciones. La aplicación de filtros que modelen las características anatómicas de las coronarias, permite reducir el espacio de soluciones. Los filtros de verticalidad y proyección vectorial modelan la trayectoria descendente que tienen las arterias. El análisis de estos filtros sirvió para fijar el orden de aplicación, lo cual permite hacer un mejor uso de los recursos de computación. La calibración permitió seleccionar el mejor rango de valores para el filtro de verticalidad. Finalmente el estudio de correlación entre los segmentos arteriales pertenecientes a una solución permitió reducir el número de soluciones en un 30% aproximadamente, logrando obtener soluciones similares a las soluciones generadas sin la aplicación del estudio de correlación.

Palabras Claves: Reconstrucción 3D, Calibración, Coronarias, Correlación

OBJETIVOS

Para este trabajo se planteó como objetivo fundamental la reducción del espacio de soluciones del proceso de reconstrucción tridimensional de las líneas centrales de las arterias coronarias. En el

proceso de reconstrucción se hace necesario aplicar filtros que permitan modelar el conocimiento estructural que se tiene de las arterias a fin de reducir el espacio de soluciones.

La evaluación de los filtros permite obtener una descripción más clara acerca del comportamiento de los mismos. Permitirá además diseñar nuevas heurísticas de aplicación de dichos filtros a fin de poder reducir el tiempo de ejecución del proceso de reconstrucción mediante la reducción del número de soluciones factibles candidatas a pertenecer al conjunto de soluciones válidas.

Cada uno de estos filtros requieren de parámetros de entrada que le dan flexibilidad o los hace más estrictos. Su calibración va a permitir hacer un mejor análisis de su aplicación, y especificar el mejor rango de valores posibles que pueden tomar los parámetros de entrada de cada uno de ellos, tal que se pueda reducir el número de soluciones sin descartar soluciones válidas.

PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL DE LAS ARTERIAS CORONARIAS

El proceso de reconstrucción tridimensional de las arterias coronarias consta de tres etapas. La primera etapa de generación de la red de soluciones 3D, en las que se genera una red de soluciones entre las que se encuentra confundida la solución real [1]. La segunda etapa de generación de segmentos unitario, la cual consiste en la selección de segmentos unitarios que describen la trayectoria de una sola rama arterial que va desde la raíz de la red de soluciones hasta la ramificación final (ver fig 1). Por último la etapa de combinación de segmentos unitarios, en la cual se forman combinaciones (permitidas por los filtros) de segmentos unitarios candidatos a formar parte de dicha solución.

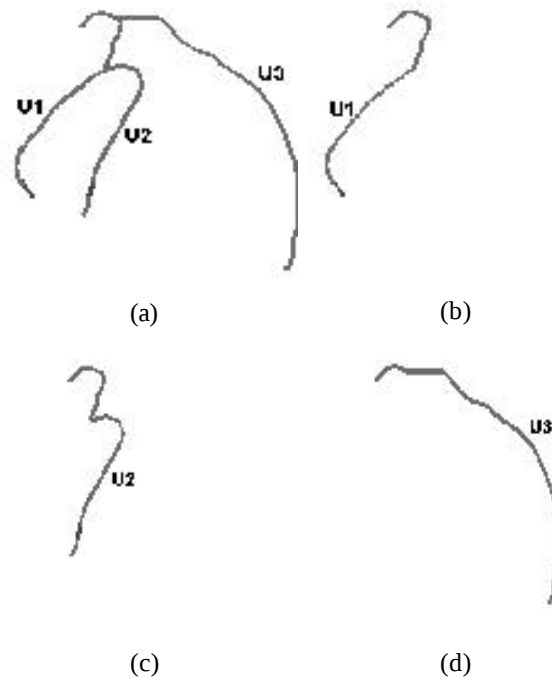


Figura 1. (a) Representa un subárbol formado por tres unitarias. (b), (c) y (d) identifican las distintas unitarias contenidas en la figura (a).

FILTROS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN

Anatómica y fisiológicamente las arterias coronarias describen una forma estructural. Su función es la de irrigar de sangre el músculo cardíaco, razón por la cual recubre a dicho músculo. Mayormente las coronarias se bifurcan de tal manera que puedan irrigar de sangre a todo el músculo cardíaco. Windyga [2][3] en su tesis doctoral trabajó en el diseño de un grupo de filtros que permitieran reducir el espacio de soluciones generados por el proceso de reconstrucción.

Los filtros involucrados en el proceso de reconstrucción planteados por Windyga[2][3] en su trabajo doctoral, describen una característica particular en cuanto a la forma estructural de las coronarias. Dichos filtros se describen a continuación:

(a) Filtro de Bifurcación

A partir de la raíz de las arterias, justo donde nace la aorta y se ubica la punta del catéter, una solución válida de reconstrucción 3D de las coronarias sólo presenta bifurcaciones. Aun cuando estudios realizados sobre fisiología de las coronarias reflejen [4] que un porcentaje entre 20% y 37% de los pacientes a quienes se les practica la angioplastia presentan una trifurcación.

(b) Filtro de Superposición

El filtro de superposición permite eliminar aquellos segmentos arteriales donde para cada uno de los planos de proyección se observe una superposición de segmentos con una longitud mayor a un valor dado.

(c) Filtro de Verticalidad

El flujo sanguíneo de las arterias coronarias describe una trayectoria que va desde las capas más superficiales del miocardio y luego a medida que se bifurcan, su recorrido es cada vez más intramiocárdico. Es decir, que describen una trayectoria descendente a lo largo de las arterias con respecto al eje ventricular (ver Fig 2). Esta característica es modelada con la aplicación de este filtro. Este filtro tiene como parámetro el valor de la pendiente que forma la trayectoria de la arteria con respecto al eje del ventrículo. Inicialmente su valor se encuentra acotado en el rango $[0, 15]$, lo equivalente a 0° y 86° de pendiente.

(d) Filtro de Proyección Vectorial

Cada segmento unitario esta formado por la concatenación de muchos subsegmentos continuos. El filtro de proyección vectorial permite modelar la dirección del flujo sanguíneo de las arterias

coronarias, entre segmentos adyacentes. Este filtro no permite la generación de segmentos en los que subsegmentos unitarios adyacentes tengan o formen un ángulo mayor a 90° .

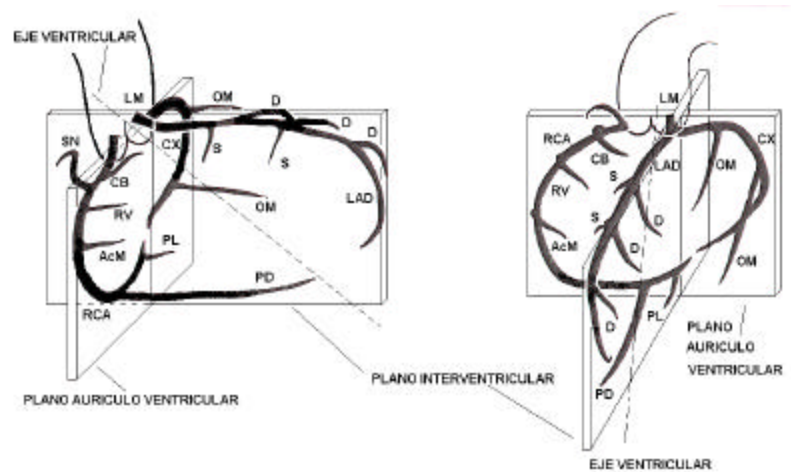


Figura 2. Relación de las arterias principales con respecto a los planos interventricular y aurículo ventricular.

(e) Filtro de Proyección Vectorial

Cada segmento unitario está formado por la concatenación de muchos subsegmentos continuos. El filtro de proyección vectorial permite modelar la dirección del flujo sanguíneo de las arterias coronarias, entre segmentos adyacentes. Este filtro no permite la generación de segmentos en los que subsegmentos unitarios adyacentes tengan o formen un ángulo mayor a 90° .

(f) Filtro de Completitud

El porcentaje de completitud de una solución viene medido por el porcentaje de proyección que la solución tiene sobre cada una de las proyecciones 2D a partir de las cuales se obtuvieron los datos 3D. En condiciones ideales la proyección de las arterias 3D debería ocupar el 100% de las arterias 2D de cada proyección.

(g) Filtro de Correlación

Se realizó un estudio de la correlación entre segmentos unitarios. Este análisis surge de la idea de que de todo el conjunto de unitarias generado en etapa de generación de segmentos unitarios, sólo una parte de ellos pertenecerán al conjunto de soluciones válidas. Muchas de estas unitarias son muy similares, su mayor diferencia puede deberse a uno o dos segmentos. Pues bien, se diseñó un algoritmo que permite eliminar aquellas unitarias que poseen una alta correlación con alguna otra unitaria. Para ello se midió la correlación en función del número de segmentos contenidos igualmente en un par de unitarias. Así mientras mayor sea el número de segmentos presentes en un par de unitarias, mayor será el índice de correlación. De esta forma se reduce significativamente el espacio de soluciones de reconstrucción y además de reducir el tiempo de ejecución del proceso de reconstrucción 3D de las arterias coronarias. Este filtro tiene como parámetro de entrada un valor de correlación aceptable, el cual es tomado como referencia para descartar segmentos unitarios que tengan un alto nivel de correlación con respecto a otro de los segmentos ya pertenecientes a la solución en proceso de reconstrucción o de combinación.

METODOLOGÍA

Los filtros analizados se aplican en dos fases del proceso de reconstrucción, la primera fase de generación de unitaria y una segunda fase de combinación de unitarias. Definiendo unitaria aquel segmento arterial formado por varios subsegmentos que van desde la raíz del árbol arterial hasta la ramificación final del mismo (ver fig. 1).

Primeramente se realiza un estudio del comportamiento de los filtros. El análisis se realiza en base al número de segmentos unitarios que se generan a partir de la aplicación o no de cada filtro. Se experimenta con los valores de los parámetros de los filtros, a fin de calibrarlos. Finalmente se

presentan los resultados de la evaluación y en resumen la importancia del orden de aplicación de dichos filtros.

(1) Evaluación de los filtros

El filtro de completitud, más que un filtro el cual permita reducir el número de soluciones de reconstrucción, es más bien un filtro informativo que indica en que porcentaje los segmentos 3D reconstruidos en una solución se encuentran representados en las proyecciones correspondientes. El filtro de superposición fue evaluado por Windyga. Según los parámetros definidos por Windyga, este valor se encuentra acotado entre 80 y 120, que corresponde a una distancia aproximada entre 20mm y 30mm, de longitud entre segmentos superpuestos [5][6].

El filtro de verticalidad tiene como parámetro la pendiente formada por un segmento candidato a formar parte de una unitaria. Dicho parámetro fue acotado empíricamente escogiendo el máximo valor para lo cual no se observaba gráficamente una devolución aparente de alguna de las unitarias. La evaluación de este filtro consiste en variar el valor del parámetro de entrada y observar el número de unitarias que se generan en cada variación. El parámetro del filtro de proyección vectorial no permite variación. Sencillamente, si este filtro se aplica se escogen aquellas unitarias en que cuyos segmentos adyacentes no formen un ángulo menor a 90° . Es decir que su evaluación consiste sólo en su aplicación o no en el proceso de generación de unitarias.

(2) Calibración de los filtros

De los filtros analizados el único filtro que permite un rango de valores como parámetro de entrada es el filtro de verticalidad. Calibrar dicho filtro va a permitir reducir el rango de valores, escogiendo un rango en el que se contenga los mejores conjuntos de segmentos unitarios.

RESULTADOS PRELIMINARES

(1) De la evaluación y Calibración de los filtros de verticalidad y proyección vectorial

Para la evaluación de los filtros de verticalidad y proyección vectorial, se formaron tres conjuntos. Un primer conjunto en donde se tienen aquellas unitarias generadas sólo con la aplicación del filtro de verticalidad. Un segundo conjunto en donde se tienen aquellas unitarias generadas sólo con la aplicación del filtro de proyección vectorial. Un tercer conjunto donde se tienen las unitarias generadas con la aplicación de ambos filtros. Se pudo observar entonces que de este tercer conjunto se generaron conjuntos de unitarias formados por unitarias entre 43 y 589. Del primer conjunto se generó un número de unitarias muy grande, inmanejable computacionalmente. Su valor estuvo alrededor de 2.000.000 de unitarias. Por lo tanto no tiene sentido aplicar el filtro de proyección vectorial sin antes aplicar el filtro de verticalidad, pues de esta forma se generan unitarias que a lo largo de su formación permiten una devolución del flujo sanguíneo. Estos resultados fueron obtenidos variando el parámetro de verticalidad por todo su rango permisible $[0,15]$, en intervalos de 0.1, 0.05 y 0.01 y anotando cada número de unitarias generadas en cada valor tomado, de esta forma se pudo obtener la gráfica de la figura 3.

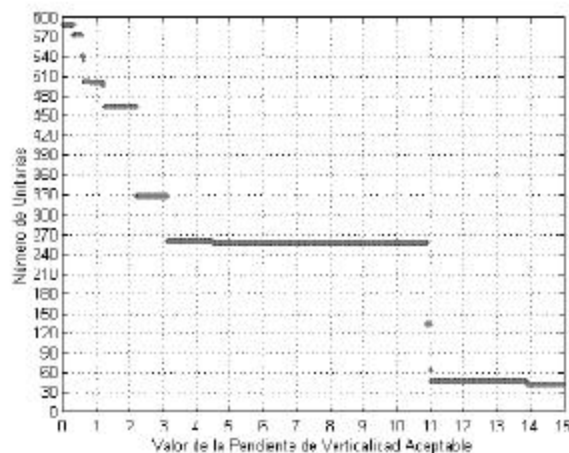


Figura 3. Número de Unitarias Generadas con la variación del parámetro del filtro de verticalidad

(2) De la aplicación del filtro de correlación

Para realizar las pruebas se tomó el mejor conjunto de unitarias generado en la etapa de generación de segmentos unitarios. Cuyo conjunto está formado por 261 unitarias. Aplicando el algoritmo de eliminación de unitarias correlacionadas, se logró reducir el conjunto a 187 unitarias, representando una reducción del 30% aproximadamente. Tomando como parámetro de correlación un valor de 0.8. De este conjunto se obtuvieron un total de 8 soluciones de las cuales 4 son invalidas y las 4 restantes son parte del conjunto de soluciones generado sin la aplicación del algoritmo de correlación.

Las pruebas fueron realizadas en una Pentium 133MHz, con 64Mg RAM y un disco duro de 2Gb. Los resultados son mostrados en la tabla 1.

Parámetro de Correlación	Número de Unitarias Obtenidas	Número de Soluciones Obtenidas	Tiempo Que tardó en obtener las soluciones (minutos)
0.7	133	2	1.5
0.8	187	8	2.3
0.9	261	12	-

Tabla 1. Tabla de resultados de la evaluación de la correlación entre segmentos

La figura 4, muestra una de las soluciones obtenida con la aplicación del algoritmo de correlación, con un parámetro de correlación de 0.7. Como se puede observar en el segmento encerrado en el círculo se muestra que es una solución incompleta. En la figura 5, se muestra la diferencia entre una solución generada con la aplicación del filtro de correlación y otra sin la aplicación del filtro. Dicha superposición fue tomada para verificar la diferencia que se observa entre soluciones.

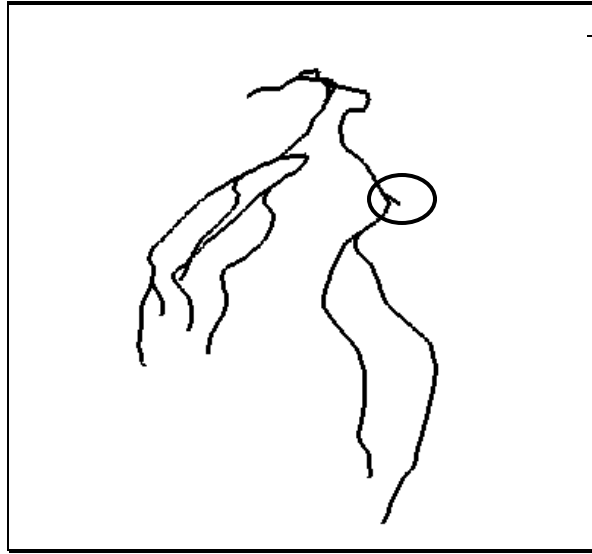


Fig. 4 Solución obtenida aplicando el algoritmo de eliminación de segmentos correlacionados, con un parámetro de correlación igual 0.7

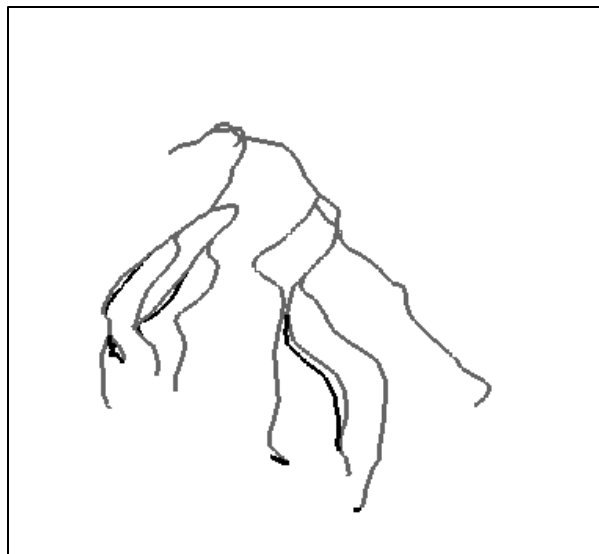


Fig. 5. Superposición de Soluciones.

En la figura 5, se tiene que los segmentos más oscurecidos forman parte de las unitarias de la solución obtenida con la aplicación del filtro de correlación, y los segmentos mas aclarecidos son los segmentos de la solución formada sin la aplicación del filtro.

APORTES EN EL ÁREA DE BIOINGENIERÍA

La evaluación de los filtros permitió establecer la importancia de tomar en cuenta el orden de aplicación en el proceso de generación de unitarias. Al aplicar primero el filtro de verticalidad se está eliminando un número representativo de unitarias, mientras que si se aplica el filtro de proyección vectorial primero, implica tiempo de computación en cálculos innecesarios sobre unitarias que por la trayectoria que modelan serán eliminadas luego con la aplicación del filtro de verticalidad.

Los resultados obtenidos permitieron establecer lo siguiente:

- No existe ninguna correlación entre el filtro de proyección vectorial y el filtro de verticalidad.
- El filtro de proyección vectorial no influye en el número de unitarias generadas siempre y cuando sea aplicado.

Del resultado obtenido en los experimentos realizados variando el valor del parámetro del filtro de verticalidad, mostrados en la gráfica de la figura 3, se escoge como mejor intervalo el comprendido entre 3 y 11 del valor del parámetro de verticalidad, pues dicho rango indica el intervalo más grande en el que el número de unitarias generadas es estable.

Con la aplicación del algoritmo de eliminación de unitarias correlacionadas, se reduce en un 30% aproximadamente el número de unitarias generadas en la etapa de generación de unitarias. Como una consecuencia inmediata al punto anterior se reduce el espacio de soluciones en un 75% aproximadamente. Luego se logra reducir el tiempo de ejecución del proceso de combinación de unitarias, pues se está eliminando tiempo de calculo al reducir el número de unitarias a combinar.

El especialista puede seleccionando algún parámetro de correlación aceptable entre los segmentos unitarios, obtener casi de manera inmediata un espacio de soluciones lo suficientemente reducido como para perder menos tiempo en escoger la solución correcta.

REFERENCIAS

- [1] La Cruz Alexandra, Morinelli Gypsy. "Herramienta para el análisis de imágenes angiográficas ANIA", Informe final de curss de cooperación Sartenejas, 1.995
- [2] Windyga P., "Evaluation et modelisation de connaissances pour la reconstruction tridimensional du reseau vasculaire cardiaque en angiographie biplan", Doctoral Thesis, Université de Rennes Y, 1.994.
- [3] Windyga, P., Coatriux, J.J, Garreau, M., LeBreton, H., "Estimation of search-space in 3D coronary artery reconstruction using angiographic biplane images", XVII IEEE-EMBS Confernce, Montreal Canada, 389-390, 1995.
- [4] Marcus M. L., Schelbert H. R., Shorton D. J., Wolf G. L., "CARDIAC IMAGING, A companion to Braunwald's HEART DESEASE", W. B. Saunders Company, 1.991, p.p. 162-280.
- [5] Robinson R., "Paralelización de la reconstrucción de imágenes angiográficas por partición del dominio". Trabajo de Maestría. USB. 1999
- [6] R. Rivas, Y. Cardinale, M.B. Ibañez, P. Windyga, "Enfoques de paralelización de la reconstrucción 3D de imágenes del árbol coronario". PANEL 1.997. Chile.