EPS
Escola Politècnica
UdG Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Eng. Tècn. Informàtica de Gestió. Pla 2001

Títol: Entorn de suport al diagnòstic dels aneurismes

Document: Memòria

Alumne: Marc Compta Perpiña, u1063912

Director/Tutor: Doctora Boada Oliveras, Immaculada
Departament: Informàtica i Matemàtica Aplicada
Àrea: Imatge mèdica

Convocatòria (mes/any): Setembre / 2009

Índex

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS 6

1.1. MOTIVACIÓ 6
1.2. LA PLATAFORMA STARVIEWER 8
1.3. OBJECTIUS 8
1.4. PLANIFICACIÓ 8
1.5. METODOLOGIA APLICADA: L'EXTREME PROGRAMMING 9
1.6. TEMPORALITZACIÓ 11
1.7. ESTRUCTURA DEL DOCUMENT. 12

2. ESTUDI PREVI 13

2.1. ENTORN MÈDIC 13
2.1.1. ANEURISMES 13
2.1.1.1. Què és un aneurisma? 13
2.1.1.2. Classificació dels aneurismes 13
2.1.1.3. Com es contrau i qui té un major risc de patir-ne? 14
2.1.1.4. Símptomes 14
2.1.1.5. Detecció i tractament 15
2.1.1.6. Procediment no quirúrgic en el tractament d'aneurismes 16
2.1.2. PROCÉS DE DIAGNÒSTIC 16
2.1.2.1. Adquisició de dades del pacient. 17
2.1.2.2. Visualització de les imatges. 18
2.2. SEGMENTACIÓ DEL SISTEMA VASCULAR 19
2.2.1. ALGORITMES DE SEGMENTACIÓ DE VASOS 20
2.2.1.1. Pattern recognition techniques 20
2.2.1.2. Model-based approaches 23
2.2.1.3. Tracking-based Approaches 24
2.2.1.4. Artificial Intelligence-Based Approaches 24
2.2.1.5. Neural Network-Based Approaches 24
2.2.1.6. Tube-like object detection approaches 25
2.3. ENTORN TÈCNIC 25
2.3.1. STARVIEWER 25
2.3.2. EINES UTILITZADES 26
2.3.2.1. Llenguatge de programació C++ 26
2.3.2.2. Biblioteca Qt 27
2.3.2.3. Qt Creator 27
2.3.2.4. Llibreries ITK 27
2.3.2.5. Llibreries VTK 28
2.3.2.6. Llibreries VMTK 29
2.3.2.7. Umbrello UML Modeller 30

3. IMPLEMENTACIÓ 32

3.1. VISIÓ GENERAL DEL PROBLEMA 32

4. MÒDUL DE SEGMENTACIÓ 34

4.1. EL MÈTODE UTILITZAT 34
4.1.1. REGION GROWING 34
4.1.2. ESQUEMES MORFOLÒGICS MATEMÀTICS 35
4.1.2.1. Dilate 36
4.1.2.2. Erode 38
4.1.3. EL PROCÉS QUE HEM SEGUIT 39
4.2. OPTIMITZANT LA SEGMENTACIÓ 40
4.3. DIAGRAMES DEL MÒDUL DE SEGMENTACIÓ 41
4.3.1. APLICAR FILTRE 42
Fitxa de cas d'ús 42
Diagrama de seqüència 43
4.3.2. POSICIONAR LLAVOR 44
Fitxa de cas d'ús 44
Diagrama de seqüència 44
4.3.3. ACTUALITZAR REGIÓ D'INTERÈS 45
Fitxa de cas d'ús d'actualitzar regió d'interès 45
Diagrama de seqüència 45
4.3.4. ACTUALITZAR LLINDAR SUPERIOR DEL THRESHOLDING 46
Fitxa de cas d'ús 46
Diagrama de seqüència 47
4.3.5. ACTUALITZAR LLINDAR INFERIOR DEL THRESHOLDING 48
Fitxa de cas d'ús 48
Diagrama de seqüència 49
4.3.6. INICIAR SEGMENTACIÓ 50
Fitxa de cas d'ús 50
Diagrama de seqüència 51

5. MÒDUL DE RECONSTRUCCIÓ 52

5.1. CENTERLINES 52
5.1.1. USANT MAPES DE DISTÀNCIA: DANIELSSONDISTANCEMAPIMAGEFILTER 52
5.1.2. MÉS MAPES DE DISTÀNCIA 54
5.1.3. CERCANT ALTERNATIVES: LA CLASSE ITK::BINARYTHINNINGIMAGEFILTER 55
5.2. RECONSTRUINT L'ESQUELET 57
5.2.1. SPATIALOBJECT 57
5.2.2. VESSELTUBESPATIALOBJECT 58
5.2.3. L'ALGORITME 59
5.2.4. APROXIMACIÓ A LA SOLUCIÓ 60

5.3. DIAGRAMES DEL MÒDUL DE RECONSTRUCCIÓ 60
5.3.1. GENERAR CENTERLINES 61
Fitxa de cas d'ús 61
Diagrama de seqüència 61
5.3.2. RECONSTRUIR ESQUELET 62
Fitxa de cas d'ús 62
Diagrama de seqüència 63

6. LA VISUALITZACIÓ 64

6.1. DE SPATIAL OBJECT A VOLUME. 64
6.2. VISUALITZANT UN MODEL 3D A PARTIR D'UN OBJECTE VOLUME. 64
6.2.1. EL VISOR 3D. 65
6.2.2. EL RAY CASTING. 65
6.3. DIAGRAMES DEL MÒDUL DE VISUALITZACIÓ 68
6.3.1. VISUALITZAR POST SEGMENTACIÓ 69
Fitxa de cas d'ús 69
Diagrama de seqüència 69
6.3.2. VISUALITZAR POST CENTERLINES 70
Fitxa de cas d'ús 70
Diagrama de seqüència 71

7. LA INTERACCIÓ 72

7.1. PRIMERA MODALITAT 72
7.2. DIAGRAMES DEL MÒDUL D'INTERACCIÓ 74
7.2.1. OBTENIR AMPLADA DEL VAS 74
Fitxa de cas d'ús 74
Diagrama de seqüència 75

8. RESULTATS 76

8.1. DIAGRAMA DE CASOS D'ÚS FINAL 76
8.2. DIAGRAMA DE CLASSES FINAL 77

9. TREBALL FUTUR 79

10. VALORACIÓ PERSONAL 80

11. BIBLIOGRAFIA 81

11.1. LLIBRES 81
11.2. ARTICLES 81

11.3. WEB **81**

12. ÍNDEX D'IMATGES **82**

1. Introducció i Objectius

1.1. Motivació

Un aneurisma és una dilatació localitzada d'una artèria o vena causada per una degeneració de la paret del vas. Els aneurismes més freqüents són els arterials i la seva localització més habitual és la base del cervell i l'aorta. La detecció dels aneurismes es realitza a partir d'imatges que s'obtenen d'un pacient a través de tomografies computeritzades o de ressonàncies magnètiques. Tan en una modalitat d'imatge com en l'altre per poder obtenir informació del sistema vascular del pacient es realitza una seqüència anomenada angiografia. Així doncs podem parlar de l'angiografia per tomografia computada (CTA) i l'angiografia per ressonància magnètica (CE-MRA). Aquestes modalitats d'imatge sovint es complementen amb l' injecció d'un contrast en l'organisme del pacient de forma que els vasos queden representats de forma més clara en la imatge.

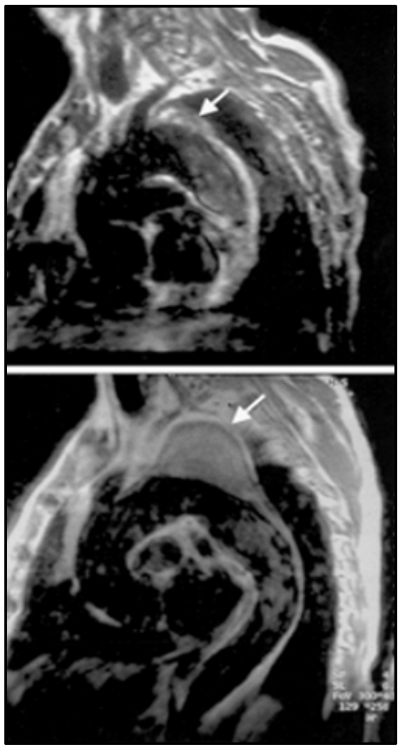


Figura 1: Aneurisma en una RM.

Una vegades disposa de les imatges d'angiografia per poder realitzar el diagnòstic és necessari disposar d'un programa que integri eines especialitzades de visualització i reconstrucció del sistema vascular.

Malgrat els avenços tecnològics que s'han produït en el camp del processament d'imatges la segmentació del sistema vascular és encara molt complicada. L'objectiu de la segmentació es separar d'una imatge tota la informació que correspon a les venes. El problema està que moltes vegades el valor d'intensitat d'aquestes coincideix amb els valor d'intensitat d'altres estructures.

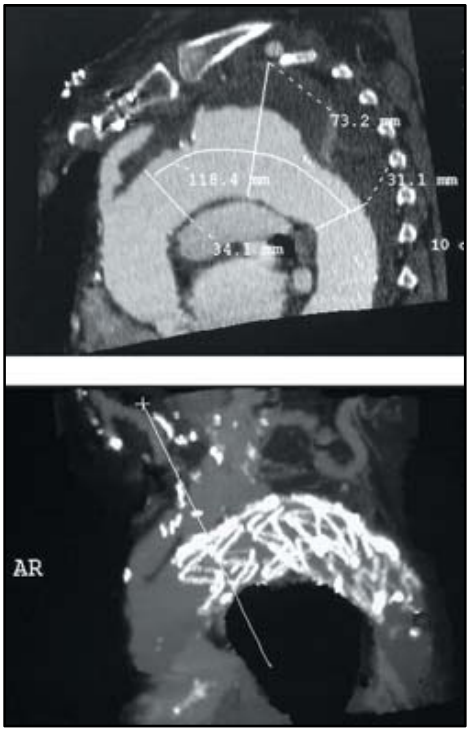


Figura 2: A. Reconstrucció de la tomografia computeritzada prèvia a la intervenció d'un pacient amb aneurisma d'aorta toràcica. B. El mateix cas, una vegada implantada la endoprótesis.

Una vegada segmentat el sistema vascular cal representar-lo de forma que sigui fàcil de visualitzar i interaccionar amb ell. En aquest procés ens calen tècniques de representació d'informació i algorismes de visualització. Finalment, quan tenim una visualització del sistema vascular ens interessa poder interaccionar amb ella per poder realitzar les operacions necessàries per determinar si cal realitzar una intervenció quirúrgica o no. En la Figura 3 representem de forma simplificada tot el que ens cal per poder donar suport al diagnòstic dels aneurismes.

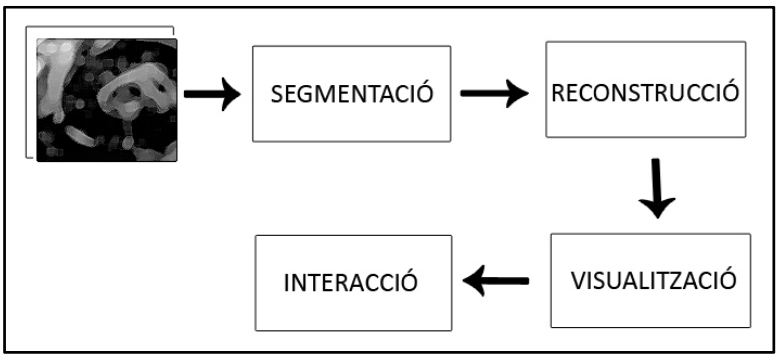


Figura 3: Procés de tractament de la imatge.

1.2. La plataforma Starviewer

La plataforma Starviewer és un entorn de processament i visualització de dades mèdiques desenvolupat conjuntament entre el Laboratori de Gràfics i Imatge de la UdG i l' Institut de Diagnòstic per la Imatge de l'Hospital Josep Trueta de Girona. Aquesta plataforma ofereix les funcionalitats bàsiques per diagnosticar a partir d'imatges. Tot i les funcionalitats de la plataforma en la versió actual no es suporta el processament avançat d'imatge d'angiografia. En aquest projecte ens proposem ampliar aquest plataforma integrant els mòduls necessaris que permetin el processament d'angiografies usades en el diagnòstic dels aneurismes.

1.3. Objectius

L'objectiu d'aquest projecte es dissenyar i implementar un entorn de suport al diagnòstic dels aneurismes. Aquest entorn s'haurà d'integrar en la plataforma Starviewer.

Per assolir aquest objectiu ens cal:

- Realitzar un estudi previ de les imatges de CTA i CE-MRA per analitzar les seves característiques i identificar-ne la seva problemàtica. Seleccionar una de les dues modalitats d'imatge com a bàsiques en el nostre treball i seleccionar la part del cos en la que ens centrarem.
- Estudiar, dissenyar i implementar un mètode de segmentació que ens permeti extreure la informació del sistema vascular de les imatges seleccionades i de la part del cos seleccionada.
- Estudiar, dissenyar i implementar un mètode de representació de venes que ens serveixi per representar la informació obtinguda en el procés de segmentació.
- Estudiar, dissenyar i implementar un mètode de visualització per poder mostrar la informació en la pantalla.

1.4. Planificació

Per poder assolir els nostres objectius seguirem un pla de treball basat en dues fases:

- **Fase d'estudi previ.** Adquisició dels coneixements necessaris per a poder assolir satisfactòriament els objectius establerts inicialment. Entre aquests coneixements hi trobarem:
    - Documentació de caire teòric sobre aspectes mèdics relacionats amb els aneurismes.
    - Anàlisis de les característiques de les imatges CTA i CE-MRA.
    - Avaluació i selecció dels diferents mètodes de segmentació, representació i visualització que utilitzarem durant la fase d'implementació.
    - Formació i documentació envers les llibreries emprades VMTK, QT i més puntualment VTK's i ITK's, i l'entorn de treball Starviewer.

- **Fase d'implementació.** Aquí és on durem a terme l'anàlisi de requeriments, el disseny i la posterior implementació de l'aplicació.

- Utilitzarem el llenguatge de model unificat (UML) per a representar els requeriments funcionals del projecte. Això farà que disposem d'un conjunt de fitxes de casos d'ús, de diagrames de classes, de seqüència, etc.
- Durem a terme l' implementació del procés de segmentació, reconstrucció i visualització sobre la plataforma Starviewer.

1.5. Metodologia aplicada: l'Extreme Programming

L'Extreme Programming o XP és un enfocament de l'enginyeria del software formulat per Kent Beck, autor del primer llibre sobre la matèria, Extreme Programming Explained: Embrace Change (1999). Es diferencia de les metodologies tradicionals en que posa més èmfasi en la adaptabilitat que en la previsibilitat. Així, els seus defensors creuen que els canvis en els requisits sobre la marxa són un aspecte natural, inevitable i, fins i tot, desitjable en el desenvolupament de projectes. Creuen que ser capaç d'adaptar-se als canvis de requisits en qualsevol punt de la vida d'un projecte és molt millor que intentar definir tots els requisits a l' inici del projecte, havent d'invertir esforços llavors en controlar els canvis en els requisits. Aquesta metodologia és recomanable especialment en:

- Projectes amb requeriments canviants.
- El risc del projecte és molt elevat.
- Equips de desenvolupament petits (de 2 a 12 persones).

Entre les característiques d'aquesta metodologia podem destacar:

- **Desenvolupament iteratiu i incremental.** Petites millores, una rere l'altra.
- **Proves unitàries contínues**, freqüentment repetides i automatitzades, incloent proves de regressió. S'aconsella escriure el codi de la prova abans de la pròpia codificació.
- **Programació per parelles:** Es recomana que el desenvolupament es realitzi en grups de dos persones treballant conjuntament. Així, es considera més important la revisió i comentari del codi "en calent" que la possible pèrdua de productivitat immediata. A més, cal tenir en compte la **propietat col·lectiva del codi**. Així, qualsevol membre de l'equip podrà comprovar i/o estendre el teu codi facilitant així el procés de depuració i solució d'errors.
- **Freqüent integració de l'equip de programació amb el client** fins al punt que es recomana que un representant del client treballi juntament amb l'equip de desenvolupament.
- **Correcció de tots els errors abans d'afegir una nova funcionalitat.** A més, realitzarem entregues freqüents.
- **Refactorització del codi**, és a dir, reescriure certes parts del codi per així augmentar-ne la facilitat de lectura i manteniment però sense modificar-ne el comportament. Les diferents proves que hauríem d'haver preparat prèviament hauran de garantir que no s'han afegit nous errors durant el procés.
- **Simplicitat**, ja que és la millor manera d'aconseguir que les coses funcionin. Un cop tot funcioni ho ampliarem funcionalment. Aquesta metodologia aposta més per realitzar una tasca simple i tenir una mica de feina extra realitzant modificacions on calgui, que

no endinsar-se en complicades tasques referents a funcionalitats que potser mai seran utilitzades.

En el context del present projecte final de carrera la tutora farà el paper de client. El propi entorn Starviewer també s'adapta a la filosofia de l'extreme programming essent un entorn complert i extensible de forma independent mitjançant mòduls o extensions.

A més, treballarem amb diferents models d'imatge de prova per tal d'anar testejant les diferents parts en que es divideix l' implementació com són la segmentació, la visualització, etc.

1.6. Temporalització

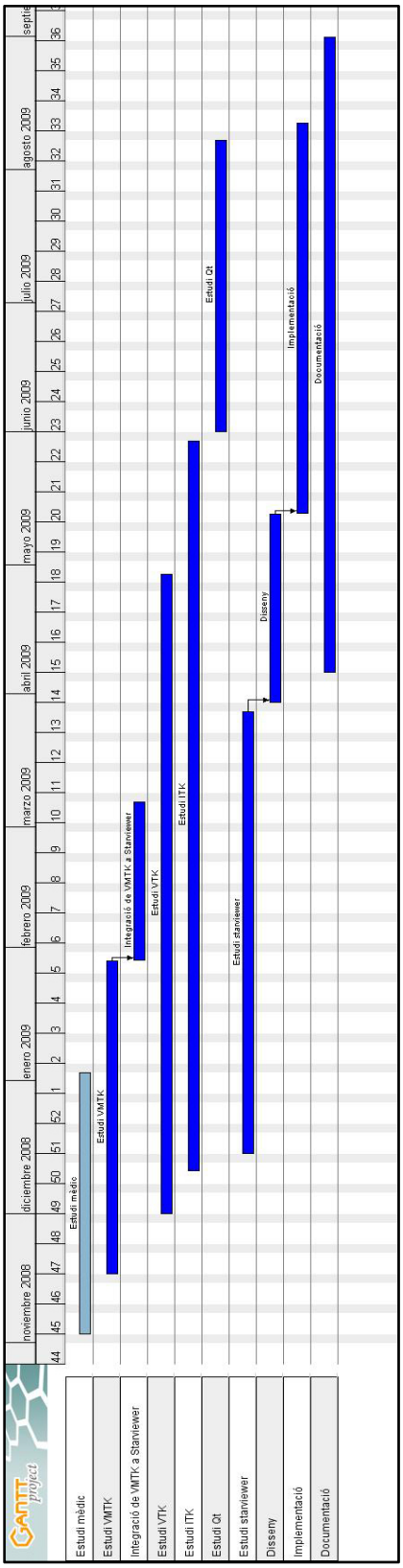


Figura 4: Diagrama de Gantt.

1.7. Estructura del document.

Aquesta memòria l'hem estructurat de la manera següent. En al **capítol 2** realitzarem un estudi previ de l'entorn que envolta al disseny de l'aplicació, tan des de punt de vista mèdic (aneurismes, detecció, tractament...) com des del tècnic (problemàtica, eines disponibles...). En el **capítol 3** presentarem les bases del que serà la implementació, destacarem la problemàtica a resoldre i presentarem els mòduls que integraran l'aplicació, que representaran el cos dels **capítols 4, 5, 6 i 7**. En el **capítol 8** presentarem una segona visió global de l'aplicació, i mostrarem resultats. Finalment trobarem un capítol dedicat al treball futur a realitzar sobre l'aplicació (**capítol 9**), i una última valoració personal des del punt de vista del projectista (**capítol 10**). Finalment trobarem la bibliografia (**capítol 11**). El **capítol 12** serà, únicament, un índex enllaçant a cada una de les figures presents en aquest document.

2. Estudi Previ

2.1. Entorn mèdic

En aquest apartat presentarem de forma molt sintetitzada els aspectes mèdics relacionats amb el projecte. En primer lloc farem una descripció de la patologia i a continuació descriurem les diferents etapes que composen el procés de diagnòstic

2.1.1. Aneurismes

2.1.1.1. Què és un aneurisma?

Un aneurisma és una dilatació anormal, localitzada i permanent d'una artèria o vena ocasionada per una degeneració de la paret del vas. Els aneurismes més freqüents són els arterials, i la seva localització més habitual radica en la base del cervell (el polígon de Willis) i l'aorta (la principal artèria que surt del cor, veure figura 5).

Aquesta dilatació del vas sanguini pot originar una hemorràgia i una falta d'irrigació als teixits que es troben més enllà de la lesió. En ocasions, l'aneurisma s'infla tant que exerceix pressió sobre òrgans, nervis i altres vasos sanguinis pròxims, danyant-los.

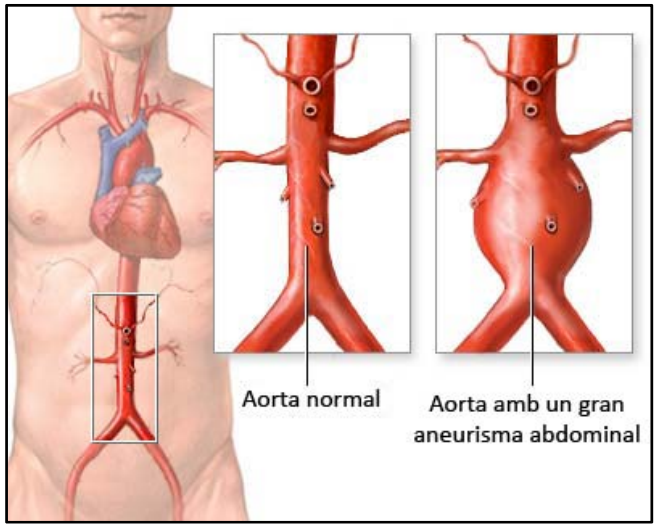


Figura 5: Aneurisma aòrtic.

2.1.1.2. Classificació dels aneurismes

En funció de les característiques dels aneurismes aquest es poden classificar en:

- Aneurisma pròpiament dit. La seva paret està formada per una o més capes arterials. Les seves diferents varietats són:

- Aneurisma fusiforme o dilatació. Tota la circumferència de l'artèria es troba afectada pel procés en certa extensió.

- Aneurisma sacciforme. La cavitat de l'aneurisma s'obre en l'artèria per una obertura que sol ser menor que el diàmetre major de la cavitat. És la forma més comú.
- Aneurisma dissecant. És una forma poc freqüent d'aneurisma en que la sang s'expandeix entre dos capes de la paret arterial.
- Aneurisma cirsoide. L'artèria i les seves branques es troben dilatades. Això es veu només en vasos petits.

- Falsos aneurismes. Hi ha un tumor que comunica amb l'artèria, però les parets no estan formades per l'artèria. Es tracta en realitat d'un hematoma per ferida o ruptura arterial.

- Aneurisma arteriovenós. S'estableix comunicació directa entre una arteria i una vena. Acostumen a ser d'origen traumàtic.

2.1.1.3. Com es contrau i qui té un major risc de patir-ne?

Tota malaltia que debiliti les parets de les artèries pot donar lloc a la formació d'un aneurisma. Els següents factors augmenten el risc de patir un aneurisma o dissecció aòrtica:

- La aterosclerosis (una acumulació de la placa grassa a les artèries).
- La pressió arterial alta.
- L'hàbit de fumar.
- Les ferides profundes, lesions o infeccions dels vasos sanguinis.
- Una anomalia congènita (una malaltia de naixement).
- Les malalties heretades, tals com el síndrome de Marfan que afecta als teixits connectius del cos i produeix ossos llargs i articulacions molt flexibles. Les persones amb aquest síndrome sovint pateixen aneurismes.

A més, la seva aparició és més freqüent entre els 30 i els 45 anys i ataquen molt més freqüentment a homes que a dones.

2.1.1.4. Símptomes

Depenen del tipus, mida i ubicació. Els situats a la base de l'encèfal són simptomàtics i només provoquen símptomes quan rebenten, que poden variar segons la ubicació des de mal de cap intens i sobtat, pèrdua en la visió fins a pèrdua de consciència. Un aneurisma en l'aorta toràcica provoca dolor en la zona, ronquera, dificultats per a tragar i tos.

Un aneurisma dissecant en la mateixa zona es manifesta amb un dolor molt fort que pot confondre's amb un infart. Si l'aneurisma està localitzat a l'aorta abdominal, pot presentar dolor abdominal i fins i tot es podria arribar a notar un bony. Si a causa de la seva ubicació exerceix pressió sobre els ossos de la columna, pot provocar forts dolors d'esquena. El major risc dels aneurismes és que originin una hemorràgia que col·lapsi el sistema circulatori, com el que tindria lloc en cas de que rebentés un aneurisma aòrtic, cosa que acostuma a provocar la mort.

2.1.1.5. Detecció i tractament

Els aneurismes es poden detectar durant una exploració física, amb radiografies bàsiques de tòrax, o utilitzant ultrasons. Poden localitzar-se i determinar-ne la mida mitjançant ecocardiografies o tècniques d'imatge radiològica, tals com l'arteriografia, la ressonància magnètica i la tomografia computada.

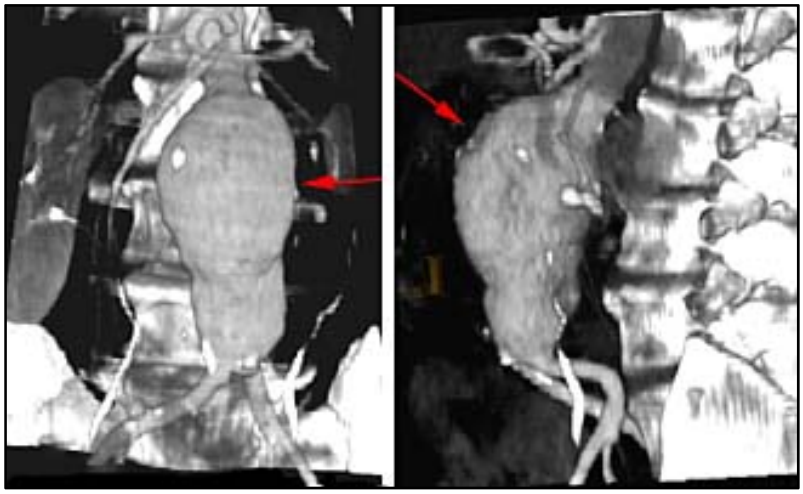


Figura 6: La nova tecnologia informàtica permet als tècnics alinear y ajuntar les imatges una sobre l'altra per produir una imatge tridimensional que es pot girar y visualitzar des de qualsevol angle.

El tractament depèn de les dimensions i l' ubicació de l'aneurisma i de l'estat actual de salut del pacient. Els aneurismes en la part superior del pit (en l'aorta ascendent) generalment s'operen de seguida. Els aneurismes en la part inferior del pit i la zona de sota l'estómac (en l'aorta descendent toràcica i abdominal) poden ser menys perillosos. Els aneurismes en aquestes zones s'han de vigilar periòdicament. Si assoleixen un diàmetre d'uns cinc centímetres (casi 2 polzades), segueixen creixent i comencen a produir símptomes, el metge probablement aconselli una intervenció quirúrgica per evitar la seva ruptura.

En quant als aneurismes aòrtics o als aneurismes que es formen en els vasos sanguinis que alimenten els braços, les cames i el cap (els vasos perifèrics), la cirurgia consisteix en substituir la secció debilitada del vas amb un tub artificial.

Quan es tracta d'aneurismes estables o de menor dimensions en l'aorta descendent o abdominal, es a dir, les seccions de l'aorta que es troben més allunyades del cor, els metges generalment recomanen vigilar el seu creixement de forma periòdica. És possible viure molts anys amb un aneurisma si aquest no creix gaire. Els medicaments que redueixen la pressió arterial són particularment útils en el tractament d'aquells pacients en els que el risc que suposa sotmetre's a una intervenció quirúrgica supera al risc causat pel propi aneurisma.

En el cas de la dissecció aòrtica, típicament es recomana cirurgia immediatament, especialment si la dissecció es troba en la secció de l'artèria més propera al cor.

2.1.1.6. *Procediment no quirúrgic en el tractament d'aneurismes*

El procediment consisteix en utilitzar un catèter per introduir un dispositiu denominat *stent graft* en el lloc de l'aneurisma. La sang flueix a través d'aquest, reduint la pressió sobre la paret de l'arteria debilitada. Aquesta reducció de la pressió pot evitar que l'aneurisma es trenqui (veure figura 7).

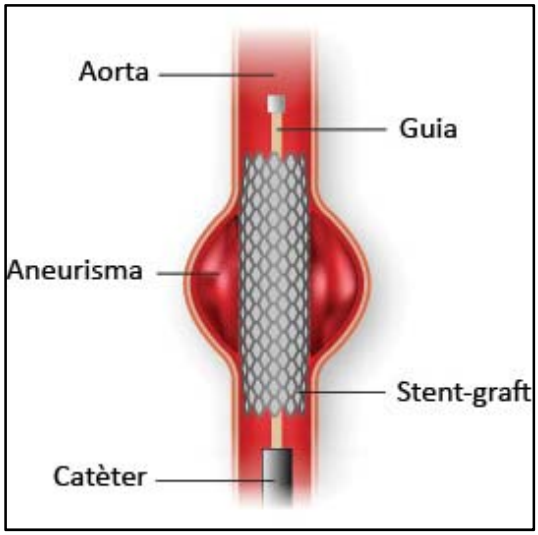


Figura 7: Tractament no quirúrgic.

Entre els avantatges d'aquest procediment trobem la no necessitat d'utilitzar anestèsia general, una estància més curta a l'hospital (al voltant de 24 hores), una recuperació més ràpida i el fet que no deixa cicatrius grans.

2.1.2. Procés de diagnòstic

En aquest apartat presentarem les diferents etapes que composen el procés de diagnòstic dels pacients que pateixen un aneurisma. Aquestes etapes són les que es representen en l'esquema de la Figura 8.

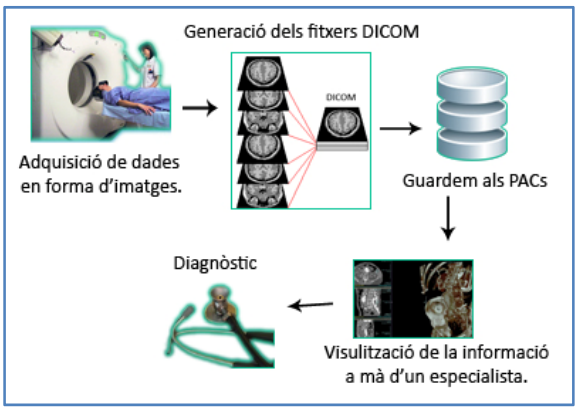


Figura 8: Esquema representatiu del procés de diagnòstic.

Veiem cada una d'aquestes etapes:

2.1.2.1. Adquisició de dades del pacient.

Per obtenir l informació de l'interior de l'organisme del pacient s'obtenen imatges a partir de dispositius de captació especialitzats com poden ser la tomografia computada o la ressonància magnètica. El tipus d'informació que ens interessa representar en aquestes imatges és la informació dels vasos sanguinis. Per aquesta raó el que cal fer és una angiografia.

Una angiografia és un examen de diagnòstic per imatge la funció de la qual és l'estudi dels vasos circulatoris que no són visibles mitjançant la radiologia convencional.

Angiografia per CE-MRA (ressonància magnètica) – RM

La Ressonància Magnètica és un dispositiu de captació que mesura a cada punt de l'organisme del pacient la densitat i la mobilitat dels protons detectant l'energia que emeten al desplaçar-se. Aquest dispositiu permet la detecció de teixits tous. Pot dur-se a terme amb o sense materials de contrast. Quan és necessari, el material de contrast s'injecta, generalment, en una vena del braç (veure Figura 1).

Angiografia de CTA (Tomografia computeritzada) – TAC

En l' **angiografia per tomografia computeritzada** (CTA segons les seves inicials en anglès), uns rajos X examinen el flux sanguini en les artèries quan aquestes estan plenes amb un medi de contrast (una substància que fa que els vasos sanguinis destaquin). Es llancen rajos X en diferents angles, aconseguint imatges detallades bidimensionals que poden ser combinades per una computadora per a formar imatges tridimensionals (veure Figura 2). A diferència de la RM el TAC permet detectar estructures òssies.

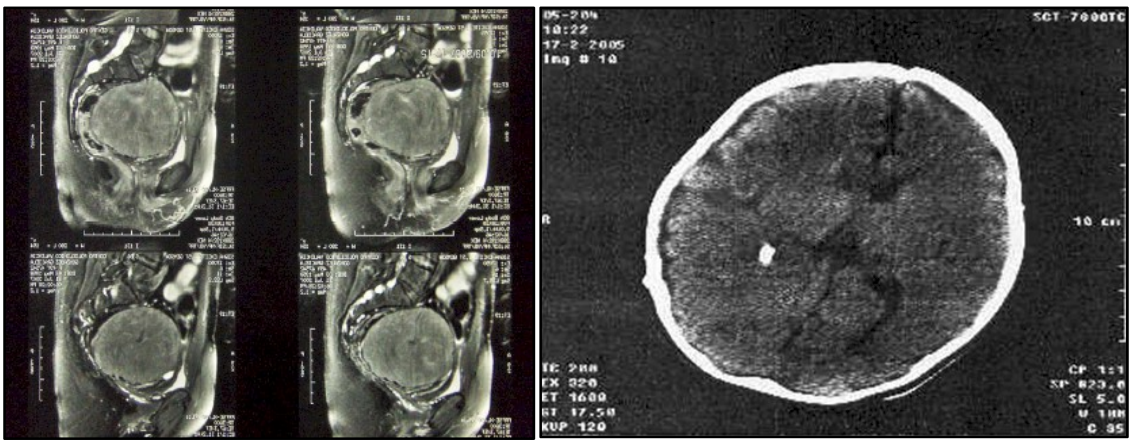


Figura 9: Esquerra. Resultat d'una RM. Dreta. Resultat d'una CTA.

Les imatges que s'obtenen a partir dels dispositius de captació presentaran una sèrie de característiques comunes (veure Figura….):

- Segueixen una distribució regular.

- Venen distribuïdes sobre plans.

Així, obtindrem un conjunt d'imatges 2D que hauran de ser degudament tractades informàticament en cas que en desitgem la seva visualització 3D.

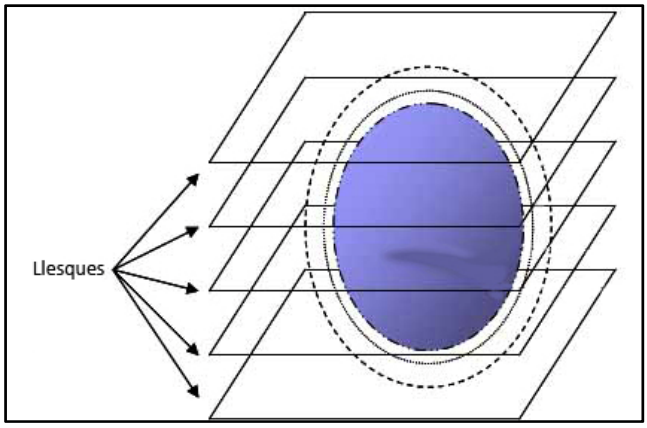


Figura 10: Esquema de "llesques" obtingut de les angiografies.

Aquestes imatges les emmagatzemarem en format DICOM. Aquest format es diferencia d'altres en que agrupa la informació dintre d'un conjunt de dades. Per exemple, una radiografia de pit actualment conté l'identificador del pacient, de manera que la imatge no pot ser separada de la seva informació per error.

Els fitxers DICOM corresponen a la part 10 de l'estàndard DICOM. Aquest descriu com guardar informació d'imatges mèdiques en un mitjà extraïble. Generalment és obligatori incloure també les *metadades* de la imatge. DICOM restringeix els noms del fitxers a 8 caràcters. Del nom del fitxer no se'n ha de poder extreure cap informació. També és obligatòria la presència d'un directori de contingut, el fitxer DICOMDIR, que proporciona un índex i informació de resum per a cada un dels fitxers DICOM continguts.

El fitxers DICOM es guarden en unes bases de dades especialitzades anomenades PACs.

2.1.2.2. Visualització de les imatges.

Per poder realitzar el diagnòstic l'especialista accedeix al PACS a través d'un programa especialitzat capaç de suportar el format DICOM (veure figura 10). El visor mostra les imatges i depenen de les funcionalitats que tingui permetrà realitzar diferents operacions que ajuden a detectar on es la lesió. L'expert usant aquestes funcionalitats realitzarà el diagnòstic. Cal remarcar que el processament de les imatges d'angiografia és dels més complicats que hi ha. Una de les raons es la tortuositat de les venes i el fet que en una imatge només es pot veure una petita part de la vena per la qual cosa cal visitar tot el model per poder reconstruir el sistema vascular. D'altra banda per millorar la qualitat de la visualització s'injecta contrast al pacient i el valor d'intensitat amb el que queda representada la informació en la imatge coincideix amb altres part de l'organisme.

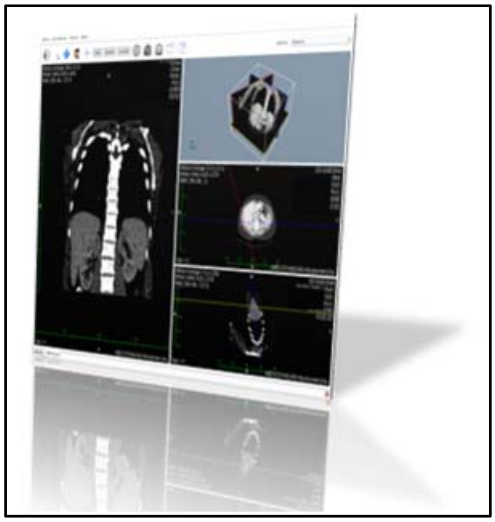


Figura 11: Exemple d'un visor per accedir als PACs.

En el cas de les angiografies les operacions que hauria de suportar el visor haurien de ser:

1. Visualització del sistema vascular. Per això ens cal detectar el sistema vascular i saber-lo reconstruir de forma que es pugui visualitzar de forma independent de la resta de dades que es mostren en la imatge. Caldrà aplicar algorismes de segmentació i tècniques de reconstrucció.

2. Poder interaccionar amb aquest sistema per poder prendre mesures que ens ajudin a saber el grau de lesió.

2.2. Segmentació del sistema vascular

La segmentació d'imatges és un dels temes fonamentals més estudiats i útils en el processament i anàlisis d'imatges, sobretot perquè constitueix el primer i inevitable pas per a la majoria de les tasques d'anàlisi quantitatiu d'imatges.

L'objectiu de la segmentació és obtenir una partició de la imatge en regions coherents, essent doncs un pas previ a l'anàlisi del seu contingut.

En el camp de la medicina, la segmentació d'imatges s'ha convertit en una pràctica essencial i molt important, ja que és imprescindible per a la realització de molts diagnòstics. Per exemple, per a l'anàlisi volumètric d'una lesió cerebral, primer de tot cal detectar-la i aïllar-la de la resta de la imatge. A més, la segmentació també ens simplifica operacions posteriors com poden ser la construcció de models anatòmics, la visualització 3D, etc...

La caracterització dels vasos sanguinis en imatges mèdiques té un paper molt important en la solució d'algunes aplicacions pràctiques tals com el diagnòstic de malalties. Donada la

importància de la segmentació en el diagnòstic de malalties relacionades amb els sistema vascular s'han proposat molts mètodes per a realitzar-la.

2.2.1. Algoritmes de segmentació de vasos

Els mètodes de segmentació varien depenent de la modalitat de la imatge, domini d'aplicació, el grau d'interacció de l'usuari essent automàtic o semiautomàtic, i altres factors particulars. En l'article de Kirbas i Queck es presenta una classificació dels diferents mètodes de segmentació de vasos. Aquesta classificació és la que es mostra en l'esquema següent:

- Pattern recognition techniques.
    - Multi-scale approaches.
    - Sleleton-based approaches.
    - Region growing approaches.
    - Ridge-based approaches.
    - Differential geometry-based approaches.
    - Matching filters approaches.
    - Mathematical morphology schemes.
- Model-based approaches.
    - Deformable models.
        - Parametric deformable models – Active contours (Snakes).
        - Geometric deformable models and front propagation methods.
        - Deformable template matching approaches.
    - Parametric models.
    - Generalized cylinders approaches.
- Tracking-based approaches.
- Artificial Intelligence-based approaches.
- Neural Network-based approaches.
- Tube-like object detection approaches.

2.2.1.1. Pattern recognition techniques

Les tècniques de reconeixement de patrons intenten detectar i classificar objectes en una imatge de la mateixa manera que ho faria un ésser humà en l'entorn. Així, algunes d'aquestes tècniques són l'adaptació del comportament humà aplicades a un sistema informàtic. En el camp de l'extracció del sistema vascular les tècniques de reconeixement de patrons procuren l'automatització en la detecció de les estructures vasculars presents en el sistema.

Multi-scale approaches

Les aproximacions multi escala permeten realitzar la segmentació en diferents resolucions d'imatge. El principal avantatge d'aquesta tècnica és l'increment en la velocitat de procés i l'increment en la robustesa. Les estructures més grans (llargs vasos en el nostre domini) són extretes a baixa resolució mentre que les petites s'extrauen en una resolució major.

Skeleton-Based (Centerline Detection) Approaches

Aquests mètodes extrauen l'esquelet (sovint en forma de *centerlines*) dels vasos. L'arbre vascular és construït connectant aquestes *centerlines*. Alguns d'aquests mètodes apliquen *thresholding* per a posteriorment connectar els objectes resultants, *thresholding* seguit d'un procés de reducció, extracció basada en la descripció del graf... La *centerline* complerta resultant és utilitzada en la reconstrucció 3D del model.

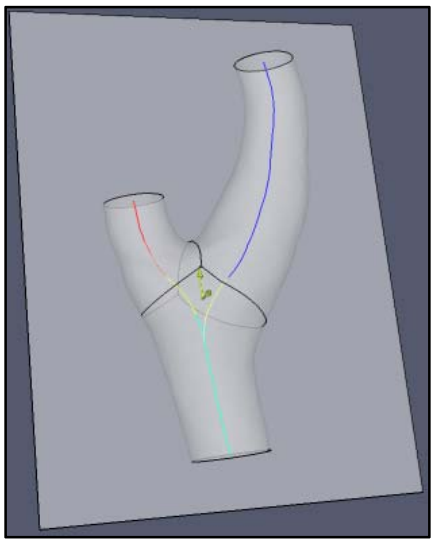


Figura 12: Centerlines.

Ridge-Based Approaches

Els algoritmes basats en "crestes" tracten imatges en escala de grisos com a mapes d'elevació en 3D en els quals les diferents intensitats permeten aproximar l'esquelet dels diferents objectes tubulars. Després de crear el mapa d'intensitats, les crestes són pics locals en la direcció del gradient de superfície màxim, i pot ser obtingut traçant el mapa d'intensitats des d'un punt arbitrari en direcció ascendent. Un cop detectat l'esquelet dels presents objectes tubulars, aquests mètodes poder ser vistos com a especialitzacions de les anteriors aproximacions *skeleton-based.*

Region Growing Approaches

Començant des d'algun punt llavor pertanyent a alguna zona o objecte concret, aquestes tècniques segmenten les imatges incrementant progressivament els píxels que la constitueixen segons algun criteri. Aquests criteris acostumen a obeir a raons de similitud o proximitat espacial. Així, assumirem que els píxels que es trobin suficientment propers i tinguin valors d'intensitat similars pertanyeran al mateix objecte. Sovint obtindrem millors resultats utilitzant aquest mètode juntament a algun pre i/o post procés.

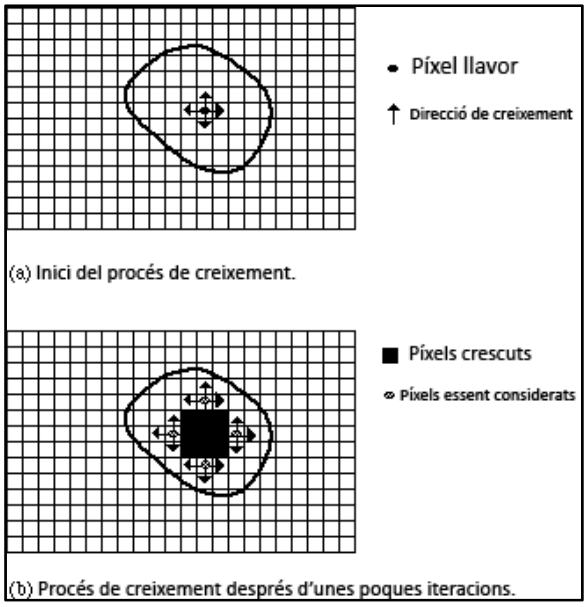


Figura 13: El Region Growing.

Differential Geometry-Based Approaches

Aquests mètodes tracten les imatges com a hipersuperfícies i n'extrauen els elements usant la curvatura i les crestes de la superfície. Els punts que constitueixen les crestes corresponen a les *centerlines* dels vasos.

Matching Filters Approaches

Degeneren la imatge usant múltiples filtres de correspondència per a l'extracció dels objectes d'interès. A l'hora d'extreure els contorns dels vasos és d'especial importància dissenyar diferents filtres per a detectar els vasos amb diferent orientació i mida. Aquests mètodes solen estar seguits per algun tipus de post procés com el *thresholding* i l'anàlisi de components connexes per tal d'obtenir el contorn final dels vasos.

Mathematical Morphology Schemes

La morfologia fa referència a l'estudi de la forma dels objectes i les figures. Els operadors morfològics apliquen elements estructurals a imatges típicament binaries, encara que també poden aplicar-se a imatges en escala de grisos. La dilatació i l'erosió són dos dels principals operadors morfològics. Dos exemples d'algoritmes que pertanyen a aquest tipus de tècniques són els algoritmes *top hat* i transformacions *watershed* [Sonka i Hlavac 1999].

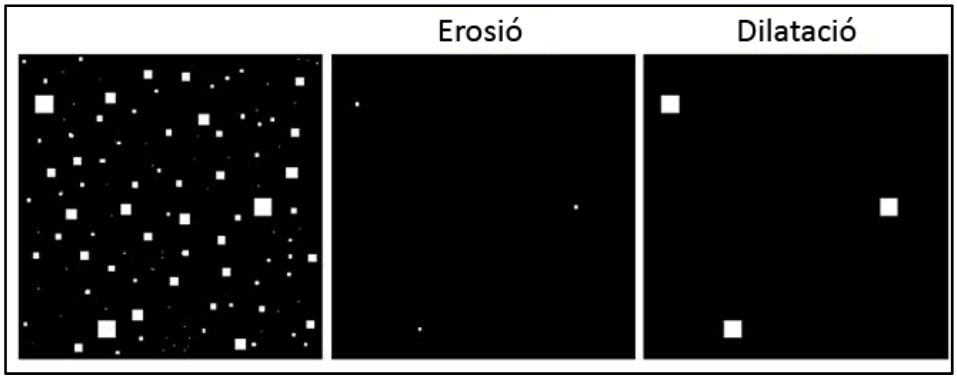


Figura 14: Es vol obtenir només els objectes de major tamany. Per això erosionem usant un EE de mida una mica menor a la de l'objecte que volem extreure. Obtenim els objectes en qüestió de menor tamany. Per a que recuperin el tamany original s'aplica una dilatació amb el mateix EE.

2.2.1.2. Model-based approaches

Aquest tipus d'aproximacions apliquen models explícits de vas per tal d'extreure el conjunt vascular.

Parametric Deformable Models –Active Contours (Snakes)

Les tècniques de models deformables són tècniques basades en el model que busquen el contorn de l'objecte usant corbes paramètriques que es deformen sota la influència de forces internes i externes. Introduïts per primera vegada per Kass, Witkin i Terzopoulos el 1987, els models de contorn actiu o *snakes* són conjunts de punts de control, anomenats *snaxels*, en una imatge, connectats els uns amb els altres. Cada *snaxel* té associada una quantitat d'energia que augmenta o disminueix segons les forces que actuen sobre seu. Aquestes forces es coneixen com a forces internes i externes del *snake*, respectivament. Les forces internes serveixen per a donar suavitat al contorn mentre que les externes tendeixen a fer que el *snake* s'aproximi a les zones límit de l'objecte, com les vores, línies o arestes que el delimiten.

Geometric Deformable Models and Front Propagation Methods

Caselles [1993] i Malladi [1995] usaren interfícies que es propagaven sota una funció de velocitat dependent de la curvatura per a modelar figures anatòmiques. Usaren l'aproximació de *Level Set* desenvolupada per Osher i Sethian [1988] i l'adaptaren al reconeixement de figures. La idea principal darrere de la tècnica de *Level Set* és la de representar corbes de propagació com a nivell 0 d'una funció amb més dimensions donada en el sistema de coordenades Eulerià.

Deformable Template Matching Approaches

Intenten reconèixer un model estructural (plantilla) en la imatge. En les aplicacions relacionades amb l'extracció de vasos, l'arbre vascular és representat sovint com un conjunt de nodes connectats mitjançant segments. Aquesta "plantilla" és deformada per a adaptar-se a les estructures presents en la imatge.

Parametric Models

Aquest tipus de tècniques defineixen els objectes d'interès de forma paramètrica. En la segmentació d'objectes tubulars els objectes són descrits com a un conjunt d'el·lipses superposades. Algunes aplicacions usen un model de vas circular.

Generalized Cylinders Model

Normalment s'utilitzen per a representar objectes cilíndrics. Tècnicament, es poden considerar dins del conjunt dels mètodes paramètrics.

2.2.1.3. Tracking-based Approaches

Les tècniques de tipus *tracking-based* apliquen operadors localment en un focus concret el qual saben prèviament que és un vas. Aquestes tècniques, partint d'un punt inicial, detecten les *centerlines* del vas o les fronteres mitjançant l'anàlisi dels píxels ortogonalment a la direcció de *tracking*.

2.2.1.4. Artificial Intelligence-Based Approaches

Utilitzen el coneixement per a guiar el procés de segmentació i determinar les estructures vasculars. Una font de coneixement poden ésser les propietats de la tècnica d'adquisició de la imatge. Algunes aplicacions utilitzen un model de vas sanguini genèric com a font de coneixement.

2.2.1.5. Neural Network-Based Approaches

Les xarxes neuronals són utilitzades per a simular aprenentatge biològic. Són àmpliament usades en el reconeixement de patrons. La xarxa és una col·lecció de processadors elementals (nodes). Cada node pren un nombre d'entrades, realitza computacions elementals i genera una sola sortida. A cada node se li assigna un pes i la sortida és la suma ponderada de les entrades. Aquests pesos s'aprenen i s'usen en el reconeixement. Un exemple força conegut d'aquesta classe de mètodes és el dels mapes de Kohonen [*maps of Kohonen, 1995*]. El lector interessat en saber més sobre aquesta classe de mètodes es pot dirigir a Ripley [1996], Clak [1991] i Haykin [1994].

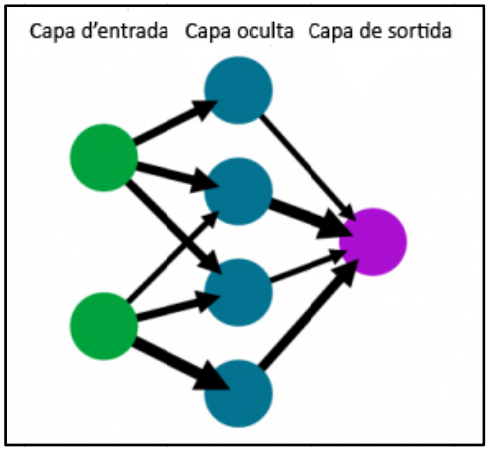


Figura 15: Una xarxa neuronal simple.

2.2.1.6. *Tube-like object detection approaches*

Aquest tipus de tècniques s'usarien en l'extracció d'estructures tubulars en les imatges. Actualment hi ha diverses classes d'aproximacions aplicables a l'extracció vascular, tot i que aquesta classe de tècniques no han estat desenvolupades amb aquesta finalitat.

Dels diferents mètodes que hem estudiat nosaltres implementarem el region growing. L'explicarem en detall en l'apartat d'implementació.

2.3. Entorn tècnic

Aquí tractarem els diferents aspectes lligats al desenvolupament informàtic del problema.

2.3.1. Starviewer

La plataforma Starviewer és una aplicació de diagnòstic que combina, en el mateix entorn, una interfície de diagnòstic funcional amb una aplicació preparada per a la recerca. Així, està dissenyada de forma modular per tal de poder integrar noves funcionalitats. Està disponible per a sistemes Windows, GNU/Linux i, amb certes limitacions, també Mac.

La plataforma és el resultat del treball conjunt entre els tècnics del Laboratori de Gràfics i Imatge de la Universitat de Girona i els radiòlegs de l' Institut de Diagnòstic per la Imatge, localitzat en els principals hospitals públics catalans.

Figura 16: Logo Starviewer.

Mitjançant Starviewer podrem visualitzar volums extraient la informació dels fitxers DICOM i aplicar sobre ells operacions bàsiques (rotació, zoom, etc.).

Afegirem funcionalitats en forma de noves extensions que proveiran a l'aplicació de noves interfícies d'usuari mitjançant les quals poder interactuar amb les dades entrades. Aquestes seran accessibles en forma de pestanyes, permetent així mantenir diferents funcionalitats sobre el mateix volum de forma concurrent.

Starviewer està format per un conjunt de classes programades a partir de llibreries externes, com són itk i vtk per al tractament de les imatges mèdiques i Qt per a la part de la interfície gràfica de l'aplicació.

Com que en aquest projecte treballarem creant una nova extensió de Starviewer haurem de treballar amb el conjunt de tecnologies que li han donat vida. En el pròxim apartat coneixerem una mica més d'aquestes tecnologies. Volem remarcar que actualment la plataforma no te cap eina especialitzada que permeti el tractament avançat de les angiografies.

2.3.2. Eines utilitzades

2.3.2.1. Llenguatge de programació C++

Figura 17: El llenguatge C++.

És un llenguatge de programació dissenyat a mitjans dels 80 per Bjarne Stroustrup. La intenció de la seva creació va ser extendre l' exitós llenguatge de programació C amb mecanismes que permetessin la manipulació d'objectes. En aquest sentit, des del punt de vista dels llenguatges orientats a objectes, C++ és un llenguatge híbrid.

Respecte a la programació orientada a objectes, les característiques més importants de C++ són:

- Herència múltiple.
- Sobrecàrrega d'operadors i funcions.
- Derivació.
- Funcions virtuals.
- Plantilles.
- Gestió d'excepcions.

2.3.2.2. Biblioteca Qt

Figura 18: Qt.

És un conjunt de llibreries multi plataforma per al desenvolupament d'interfícies gràfiques. És produït per la divisió de software Qt de Nokia, que va entrar en vigor després de l'adquisició per part de Nokia de l'empresa noruega Trolltech, la productora original de Qt.

Qt utilitza el llenguatge de programació C++ de forma nativa tot i que pot ser utilitzat en altres llenguatges de programació a través de *bindings*.

Funciona en totes les principals plataformes, i té un ampli suport. L'API de la biblioteca compta amb mètodes per accedir a bases de dades mitjançant SQL, així com ús de XML, gestió de fils, suport de xarxa, una API multi plataforma unificada para la manipulació de fitxers, a més d'estructures de dades tradicionals.

Distribuïda sota GNU Lesser General Public License (entre altres), Qt és software lliure i de codi obert.

2.3.2.3. Qt Creator

Figura 19: Qt Creator.

Qt Creator és un IDE creat per Trolltech per al desenvolupament d'aplicacions usant les llibreries Qt, requerint la seva versió 4.x.

Hem usat aquest IDE per a crear tota la interfície gràfica.

2.3.2.4. Llibreries ITK

El conjunt de llibreries ITK (*Insight Segmentation and Registration Toolkit*) constitueix un software de codi lliure, orientat a objectes, per al processament, la segmentació i el registrat d'imatges. Tot i la seva extensió, estan dissenyades per a ser senzilles d'utilitzar un cop familiaritzat amb la metodologia.

Cada una de les classes està implementada en C++. Utilitzen l'entorn *CMake* per a gestionar el procés de compilació. Així, un procés automatitzat de conversió genera interfícies entre C++ i alguns llenguatges interpretats com són Tcl, Java i Python. Això permet als desenvolupadors crear software usant una amplia varietat de llenguatges de programació.

Figura 20: ITK (Insight Segmentation and Registration Toolkit).

Arquitectura:

- Les ITK s'organitzen al voltant d'una arquitectura de flux de dades. Això és, els objectes estan representats per objectes de dades que són processats per filtres. Els objectes de dades i els filtres estan connectats usant pipelines. Les pipelines són capaces de processar les dades en parts d'acord amb uns límits de memòria especificats per l'usuari en cada una d'elles.
- S'utilitza el patró de disseny *Factory* en la creació d'objectes.
- Per al processament dels events s'utilitza el patró *command / observer*.

Característiques tècniques:

- Les ITK subministren representació de dades i algoritmes per a dur a terme la segmentació i el registre. Estan pensades per treballar especialment aplicacions mèdiques, tot i que poden treballar amb altres tipus de dades.
- No permet generar interfícies gràfiques.
- Mínim suport a la gestió de fitxers.
- Suporta execució concurrent, en diferents fils d'execució.
- Desenvolupat basant-se en els principis de l'extreme programming.

Filosofia d'implementació:

- Implementat usant els principis de la programació genèrica.
- És *cross-platform*.
- Suporta múltiples *bindings* de llenguatge.
- El model de memòria depèn de *smart pointers* per a mantenir el nombre de referències a objectes.

2.3.2.5. Llibreries VTK

Les VTK (Visualization Toolkit) són un *software* obert i de codi lliure destinat al treball amb gràfics per ordinador, processament d'imatge i visualització. Consisteix en unes llibreries de

classes C++, i una sèrie d'interfícies per a que pugui ser utilitzat en una sèrie de llenguatges interpretats com Tcl/Tk, Java i Python.

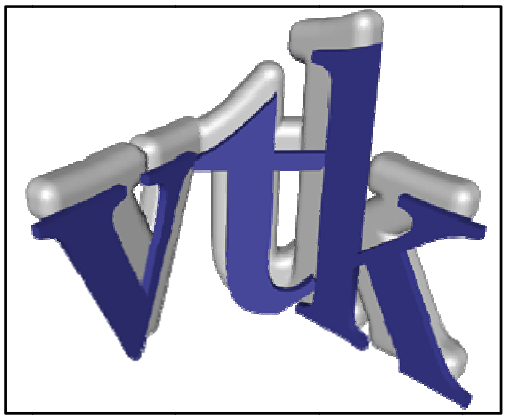


Figura 21: VTK (Visualization Toolkit).

Les VTK suporten una àmplia varietat d'algoritmes de visualització incloent mètodes escalars, vectorials, tensors, textures i mètodes volumètrics, a més d'avançades tècniques de modelatge com el modelatge implícit, reducció de polígons, etc. També disposa d'una completa *suite* de *widgets* preparats per a la interacció en 3D, suporta processament concurrent en múltiples fils d'execució i s'integra amb facilitat en sistemes d'interfície d'usuari com Qt i Tk. Són *cross-platform* i corren sobre Linux, Windows, Mac i plataformes Unix. De la mateixa manera que les ITK, aquestes també usen CMake per a gestionar el procés de compilació.

2.3.2.6. Llibreries VMTK

El conjunt d'eines de modelatge vascular (Vascular Modeling Toolkit, VMTK) és un conjunt de llibreries i funcionalitats (scripts...) per a la reconstrucció 3D, anàlisi geomètric, generació d'estructures i anàlisis de superfícies de dades pel modelatge dels vasos sanguinis.

Cal destacar que aquest conjunt d'eines no havia estat utilitzat prèviament en cap punt de l'entorn starviewer, per lo que ha calgut realitzar-ne un anàlisis des del punt de vista funcional per tal de veure quin benefici pràctic en podíem treure i amb quins problemes ens podíem trobar.

En les VMTK:

- Per una banda, tenim un conjunt de llibreries programades en llenguatge C++ basades en les VTK que integren un conjunt de funcionalitats destinades a l'extracció i el modelatge dels basos sanguinis.
- Per altra, un conjunt de scripts en programats en Python que fan ús d'aquest conjunt de funcionalitats que acabem de veure, i que resolen problemàtiques molt concretes.

Així, podem trobar *scripts* que automatitzen la majoria de processos que podem voler dur a terme en quant al sistema vascular. Tot i això, en el context d'aquest projecte hem hagut de fer front a la següent problemàtica:

- No es podia fer ús directament dels *scripts,* implementats en Python, ja que no es vol incorporar el llenguatge Python a Starviewer, exclusivament programat en C++.
- Degut a que hi havia un altre projecte de característiques similars, s'ha decidit no utilitzar aquest conjunt de llibreries en el projecte actual ja que serà l'altre PFC el que ho farà.
- Tot i el punt anterior, cal tenir en compte que prèviament ja havíem dut a terme tot el procés d'integració de la llibreria a Starviewer, per lo que tot i que no s'utilitzin finalment en la versió final d'aquest projecte, podrem trobar-hi algunes referències al llarg d'aquest document.

2.3.2.7. Umbrello UML Modeller

UML

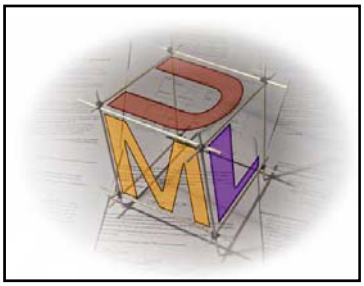


Figura 22: UML.

El llenguatge de modelat unificat, o UML segons les seves inicials en anglès (*Unified Modeling Language*) és el llenguatge de modelat de sistemes més conegut i utilitzat en l'actualitat; rep suport de l'OMG (*Object Management Group*).

És un "llenguatge de modelat" per a especificar o descriure mètodes i processos. S'utilitza per a definir un sistema, per a detallar i per a construir. En altres paraules, és el llenguatge en que està descrit el model.

Umbrello UML Modeller

Figura 23: Umbrello.

És una eina lliure per a la creació i edició de diagrames UML. Va ser desenvolupada per Paul Hensgen, i està dissenyada especialment per a *KDE,* tot i que també funciona en altres entorns d'escriptori.

En l'actualitat, Umbrello suporta la creació dels següents tipus de diagrama:

- De casos d'ús.
- De components.
- De desplegament.
- De model entitat-relació.
- De classes.

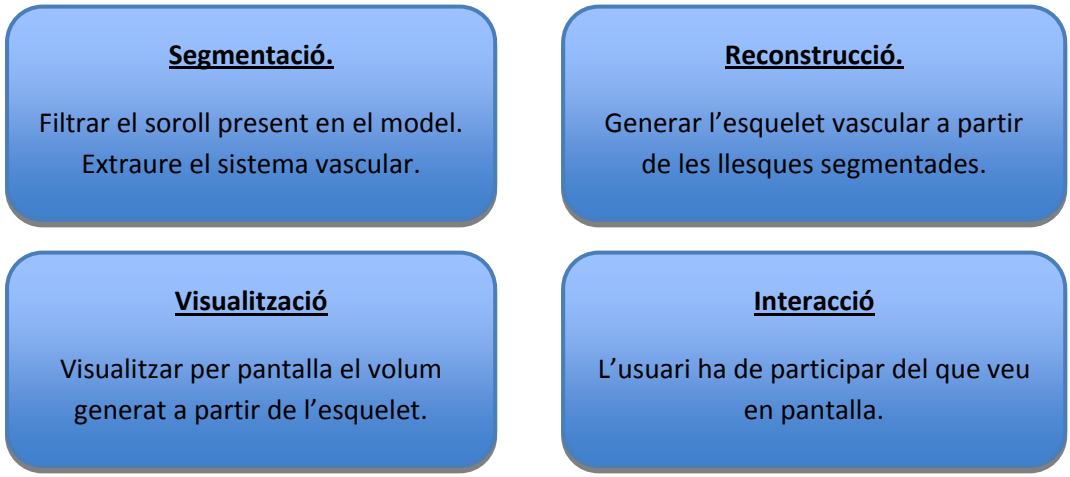
- De seqüència.
- D’estats.
- D’activitat.
- De col·laboració.

A més, permet exportar directament a una gran quantitat de llenguatges tals com C++, Java, SQL, C#, Python o Tcl, entre altres.

3. Implementació

3.1. Visió general del problema

En aquest apartat parlarem de la problemàtica a resoldre i plantejarem el model de casos d'ús general. De forma simplificada podem dir que per poder extraure el sistema vascular d'un model obtingut a partir d'una angiografia i permetre'n el tractament a fi de detectar possibles aneurismes ens cal implementar els quatre mòduls següents:



Així, tindrem els següents casos d'ús d'alt nivell:

- **Segmentació:**
  - Aplicar filtre de suavitzat.
  - Iniciar segmentació.
- **Reconstrucció.**
  - Generar esquelet.
- **Visualització.**
  - Visualitzar esquelet 3D a partir del model.
- **Interacció.**
  - *Concepte global d'interacció en l'aplicació.*
  - Obtenir amplada del vas.

Així, ens serà possible dissenyar una primera versió del model de casos d'ús, que anirem refinant en cada un dels pròxims apartats, en que tractarem amb major grau de detall cada un dels mòduls que componen el present projecte.

Diagrama de casos d'ús general, d'alt nivell:

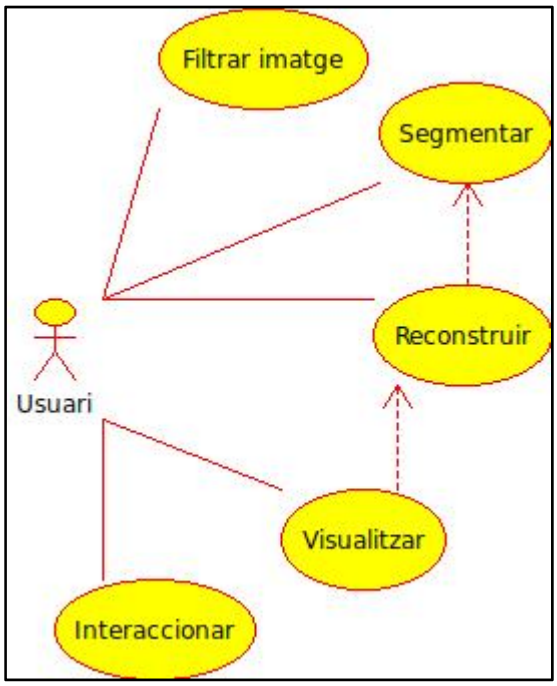


Figura 24: Diagrama de casos d'ús, primera aproximació.

4. Mòdul de segmentació

4.1. El mètode utilitzat

Per tal de segmentar correctament la imatge hem utilitzat el mètode de creixement de zona o *region growing* per a determinar si un píxel forma part de la zona o no. També hem aplicat els operadors morfològics d'erosió i dilatació per a eliminar bona part del soroll.

A continuació explicarem cadascun dels mètodes amb més detall, i veurem quin és el procés seguit amb exactitud.

4.1.1. Region growing

Anteriorment hem dit:

"Començant des d'algun punt llavor pertanyent a alguna zona o objecte concret, aquestes tècniques segmenten les imatges incrementant progressivament els píxels que la constitueixen segons algun criteri. Aquests criteris acostumen a obeir a raons de similitud o proximitat espacial. Així, assumirem que els píxels que es trobin suficientment propers i tinguin valors d'intensitat similars pertanyeran al mateix objecte. Sovint obtindrem millors resultats utilitzant aquest mètode juntament a algun pre i/o post procés."

Fixem-nos en la implementació concreta d'aquest algoritme que es troba en la classe itk::ConnectedThresholdImageFilter.

Diagrama de col·laboració de la classe dins el conjunt de les ITK:

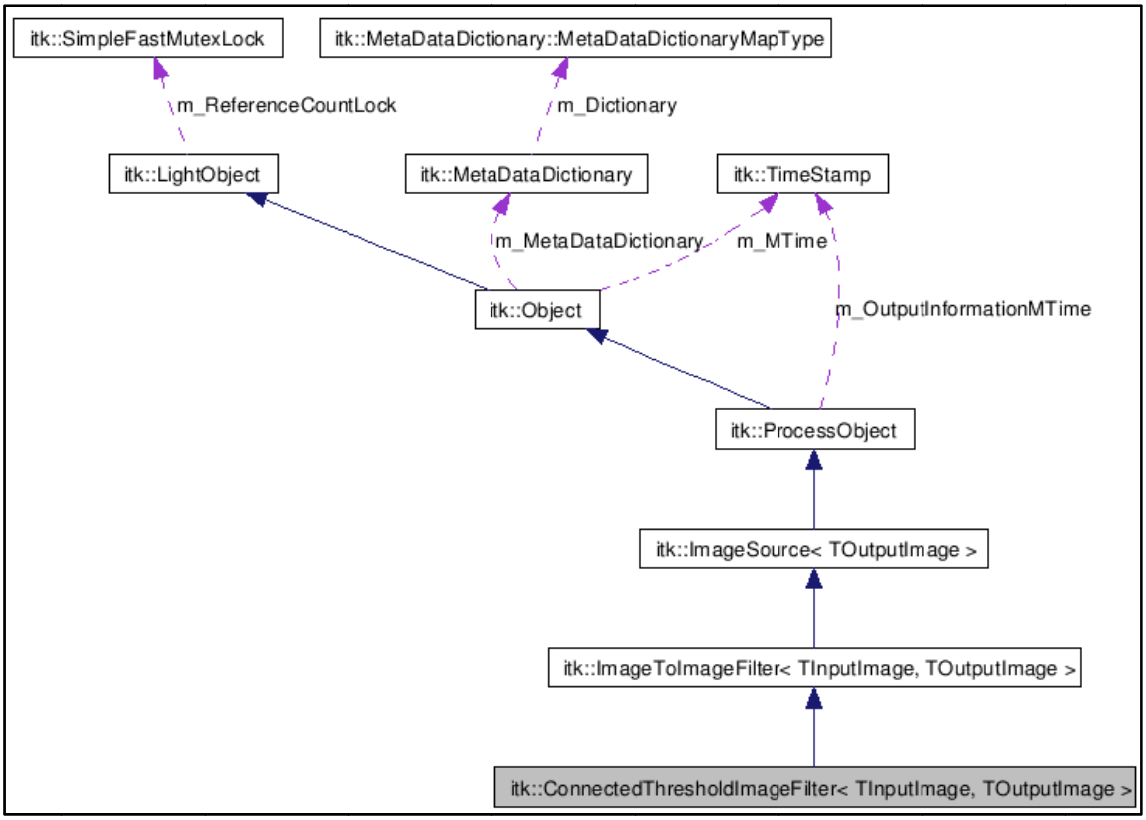


Figura 25: Diagrama de classes de ConnectedThresholdImageFilter.

Necessitem establir un criteri per a decidir quan un píxel serà inclòs en una regió. El criteri que utilitza aquesta classe es basa en un interval comprès entre dos valors d'intensitat establerts per l'usuari. Així, haurem de proveir a la classe dels valors del major i el menor thresholding. L'algoritme de Region Growing inclourà tots els píxels el valor d'intensitat dels qual estigui comprès dins d'aquest interval.

$$I(X) \in [lower, upper]$$

A més, també proveirem a la classe els valors dels píxels pertanyents i no pertanyents a la zona com a resultat obtingut en la màscara resultant.

4.1.2. Esquemes morfològics matemàtics

Anteriorment hem dit:

"La morfologia fa referència a l'estudi de la forma dels objectes i les figures. Els operadors morfològics apliquen elements estructurants a imatges típicament binaries, encara que també poden aplicar-se a imatges en escala de grisos. La dilatació i l'erosió són dos dels principals operadors morfològics".

En primer lloc, veiem la classe que representa un element estructurant bàsic en les ITK. Aquesta és la classe itk::BinaryBallStructuringElement.

Diagrama de col·laboració de la classe dins el conjunt de les ITK:

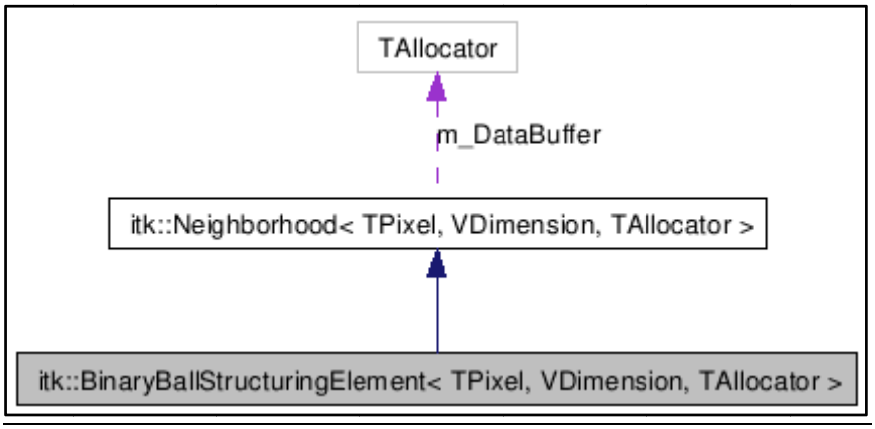


Figura 26: Diagrama de classes de BinaryBallStructuringElement.

Ara, fixem-nos com s'utilitza aquest element estructurant (EE) en el cas de l'operador *dilate* i de l'*erode*.

4.1.2.1. Dilate

La classe que representa aquest operador en les ITK és la classe itk::BinaryDilateImageFilter.

Diagrama de col·laboració de la classe dins del conjunt de les ITK *(ampliable prement ctrl+moviment de la rodeta del ratolí)*:

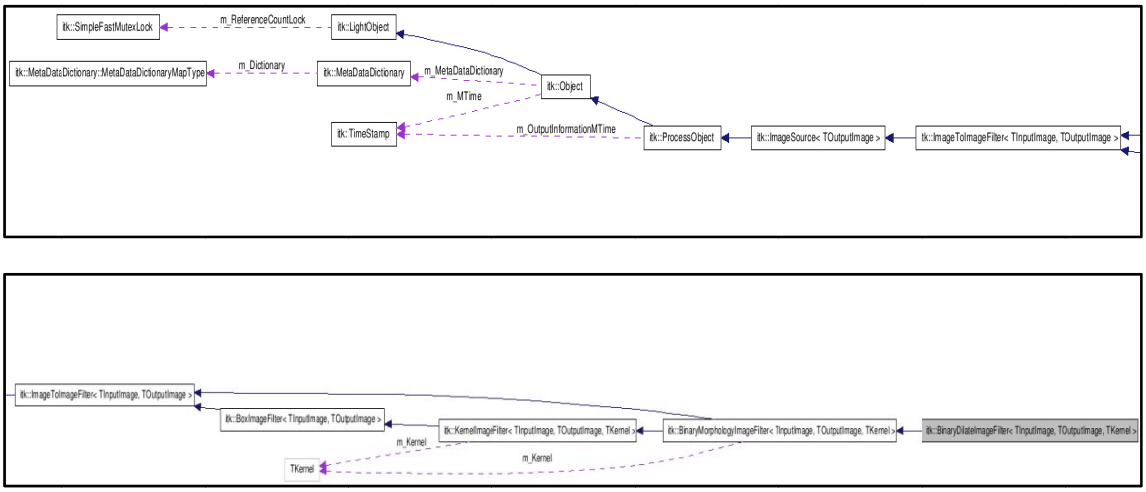


Figura 27: Diagrama de classes de BinaryDilateImageFilter.

El procés té lloc com s'explica a continuació:

Dilatació de la imatge A* per l'EE C:

*NOTA: En rigor, A no és una imatge sinó un conjunt, i el resultat de la seva dilatació, δC(A), tampoc és una imatge, sinó un altre conjunt. Tot i això utilitzarem expressions com "la imatge A" per a referir-nos a "la imatge a(x,y) definida pel conjunt A".

$$\delta_C(A) = A \oplus C = \{\mathbf{x} \mid (\hat{C})_{\mathbf{x}} \cap A \neq 0\}$$

Aquesta fórmula s'obté en base a la reflexió de C respecte al seu origen i un desplaçament x.

- La sortida de la dilatació és el conjunt de punts escombrats pel centre de l'EE mentre algun punt de C coincideix amb algun de A.
- Alternativament (veure figura a continuació), pot interpretar-se la dilatació com el resultat de substituir cada píxel blanc de la imatge original per una rèplica de l'element estructurant.

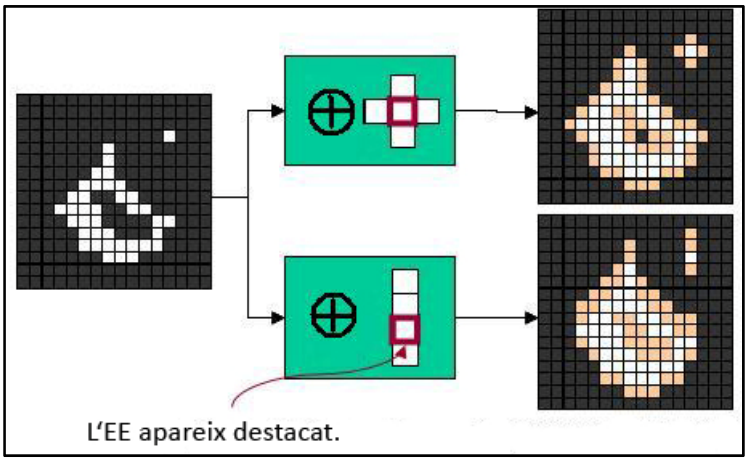


Figura 28: Els píxels que canvien de negre a blanc per efecte de la dilatació apareixen lleugerament pintats.

Propietats:

- Afegeix tots els punts del fons que toquen un objecte. → La dilatació és extensiva.
- Emplena entrades en les que no cap l'EE (petits forats).

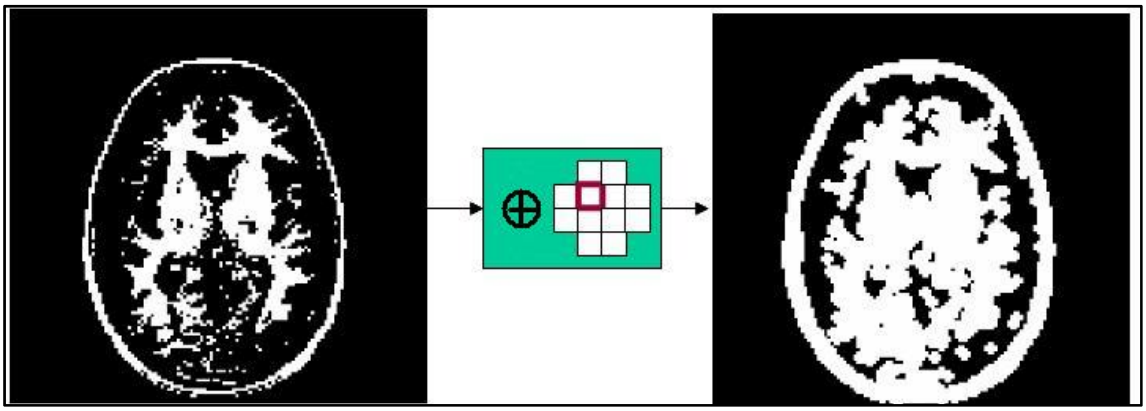


Figura 29: L'efecte de la dilatació.

4.1.2.2. Erode

La classe que representa aquest operador en les ITK és la classe itk::BinaryErodeImageFilter.

Diagrama de col·laboració de la classe dins del conjunt de les ITK *(ampliable prement ctrl+moviment de la rodeta del ratolí)*:

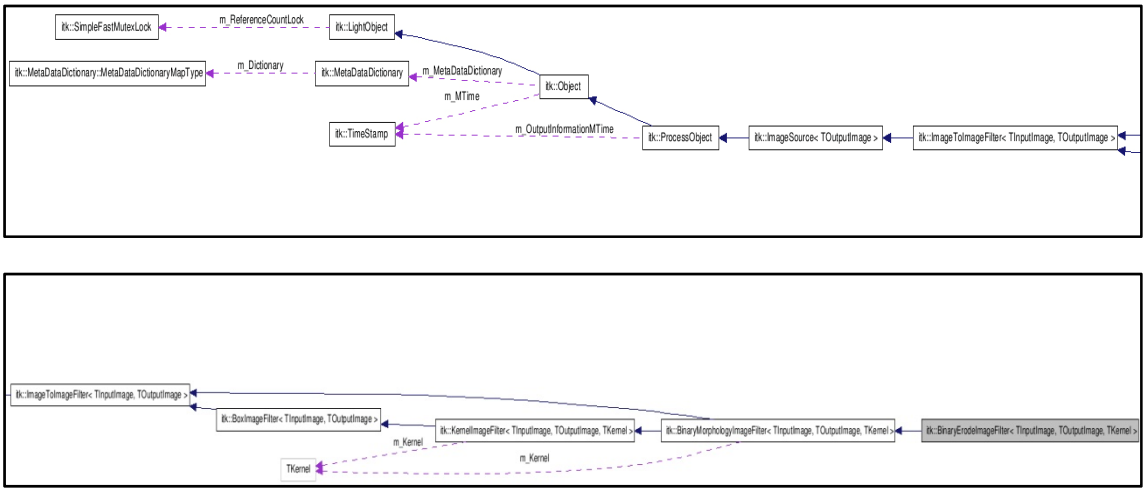


Figura 30: Diagrama de classes de BinaryErodeImageFilter.

El procés té lloc com s'explica a continuació:

Erosió de la imatge A per l'EE C:

$$\varepsilon_C(A) = A \ominus C = \{\mathbf{x} \mid C_{\mathbf{x}} \subset A\}$$

Conjunt de tots els punts x, tals que C traslladat x, estan continguts en A.

- La sortida de l'erosió és el conjunt de punts escombrats pel centre de l'EE mentre es compleixi que tots els punts de C estaven continguts en A.
- Elimina grups de píxels on l'EE no hi cap.

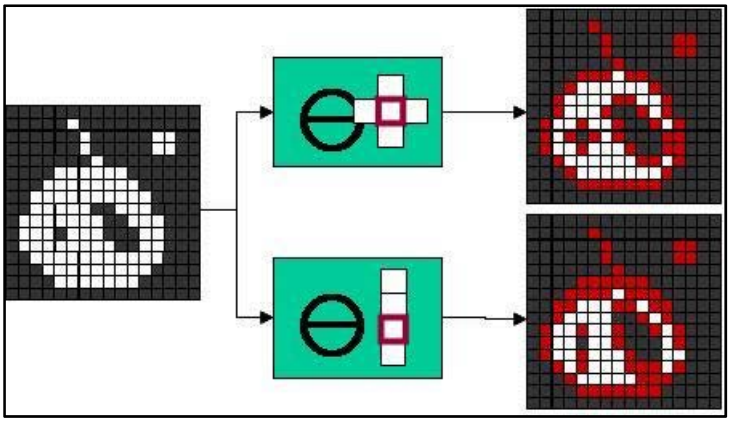


Figura 31: Els píxels que canvien de blanc a negre per efecte de l'erosió apareixen en vermell.

Propietats:

- L'erosió és anti-extensiva. → Redueix la mida de l'objecte.
- Elimina elements en els que no càpiga l'EE (petites illes i protuberàncies).
- És la erosió la inversa de la dilatació? No, però estan relacionades:

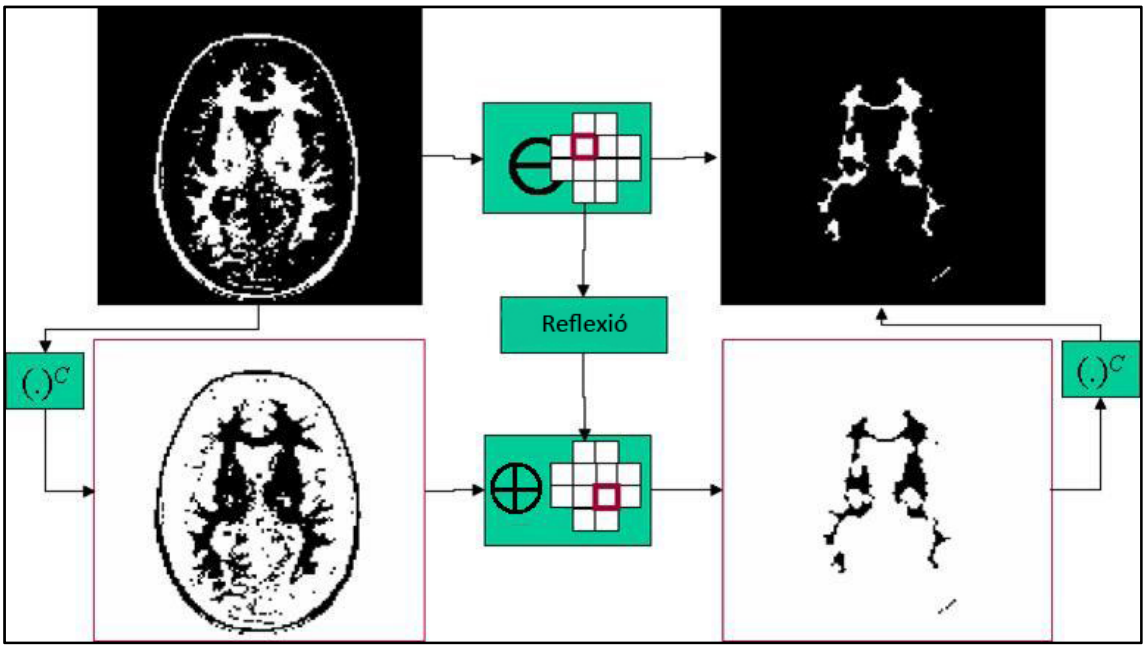


Figura 32: És la reflexió inversa a la dilatació?

4.1.3. El procés que hem seguit

Un cop l'usuari ha col·locat la llavor en el punt desitjat de la imatge, ha definit la zona sobre la qual s'aplicarà el procediment i ha proveït a l'algoritme dels llindars d'intensitat desitjats s'inicia l'algoritme. Primer s'aplica un *region growing* sobre la imatge i se'n extreu la part desitjada. A continuació s'aplica, amb l'objectiu de reduir el soroll present, uns sèrie d'operadors morfològics en l'ordre ERODE – DILATE. Finalment es torna a segmentar la imatge usant el mateix mètode que abans, fins a obtenir la màscara final.

4.2. Optimitzant la segmentació

Per tal d'optimitzar la segmentació en casos en que la imatge presenta alts nivell de soroll és convenient aplicar algun tipus de pre-procés usant algun filtre capaç de "suavitzar" la imatge respectant-ne la geometria. Un d'aquests filtres és el itk::CurvatureFlowImageFilter. Opcionalment l'usuari podrà aplicar aquest filtre abans de la segmentació.

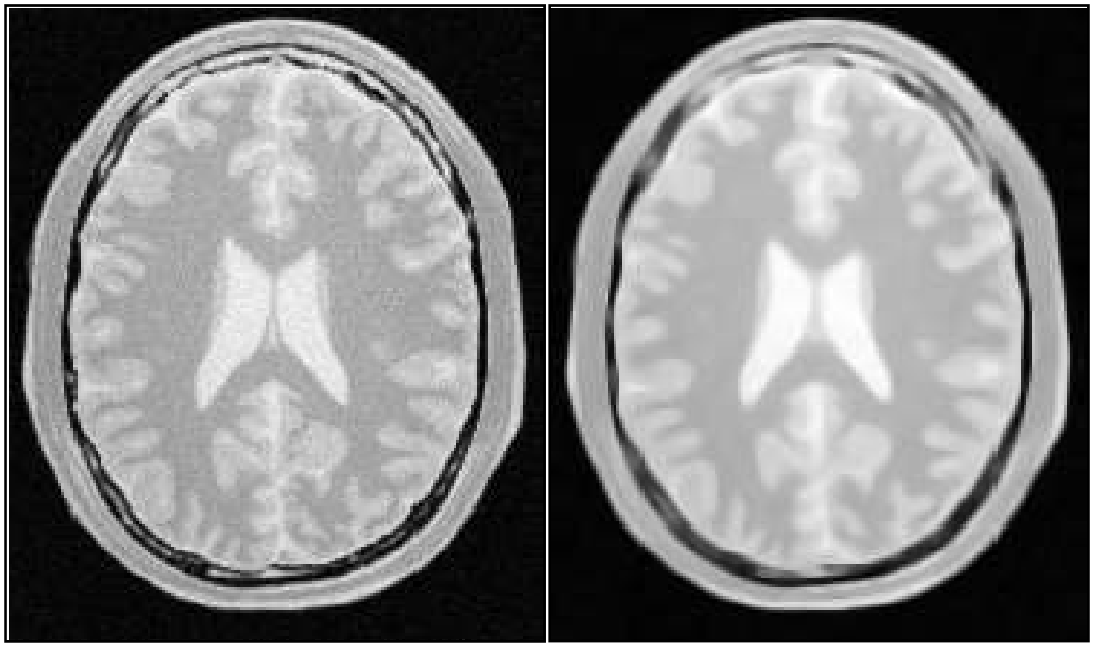


Figura 33: Abans i després d'aplicar el filtre.

4.3. Diagrames del mòdul de segmentació

Un cop comentats els principals aspectes que engloben la segmentació en l'àmbit d'aquest projecte, passem a veure el conjunt de diagrames modelats en UML que han servit com a base durant la seva implementació. A continuació veurem el diagrama de casos d'ús, i seguidament especialitzarem cada una de les accions que hi ha representades.

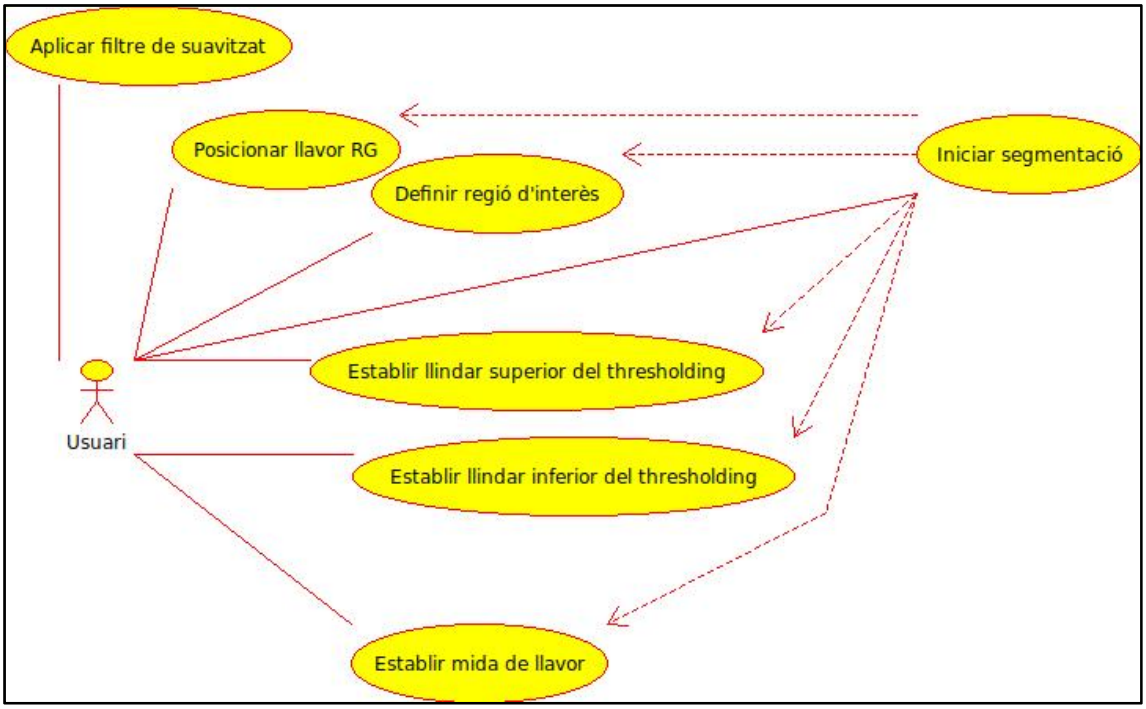


Figura 34: Diagrama de casos d'ús del mòdul de segmentació.

Per cada una de les accions especificades mostrarem la fitxa de cas d'us i els diagrama de seqüència.

4.3.1. Aplicar filtre

Fitxa de cas d'ús

Cas d'ús	**Aplicar filtre**
Descripció	Aplica un filtre de suavitzat no agressiu al volum.
Actors	Usuari.
Precondició	Encara no hem iniciat el procés de segmentació.
Flux Principal	1.- Si no existeix el volum filtrat. 1.1.- Inicialitzem el volum filtrat. 1.2.- Aplica el filtre sobre el nou volum i el l'assigna com a volum principal de aneurismSegmentationMethod. 1.3.- S'actualitza el primer visualitzador.
Fluxos Alternatius	1.- Si ja existeix el volum filtrat. 1.1.- No fa res.
Postcondició	Es mostra al primer visor el nou volum de treball resultat d'aplicar el filtre sobre el volum principal.

Diagrama de seqüència

(2) Assignem el volum principal com a principal de la classe que implementa el mètode que aplica el filtre. (3), (4) i (5) Inicialitzem un nou volum i li assignem la informació mèdica disponible en el volum principal. (6), (7) i (8) Apliquem el mètode i actualitzem el visor.

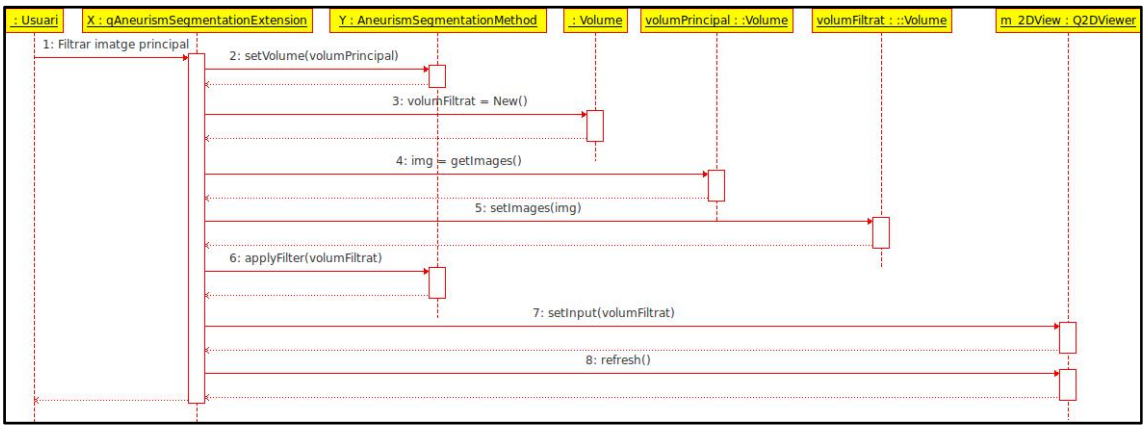


Figura 35: Diagrama de seqüència d'aplicar filtre.

4.3.2. Posicionar llavor

Fitxa de cas d'ús

Cas d'ús	Posicionar llavor RG
Descripció	Actualitza la posició de la llavor.
Actors	Usuari.
Precondició	No s'ha iniciat el procés de segmentació.
Flux Principal	1.- Actualitza la posició de la llavor.
Postcondició	S'ha actualitzat correctament la posició de la llavor, cosa que ha quedat reflectida per un punt vermell sobre el primer visor 2D.

Diagrama de seqüència

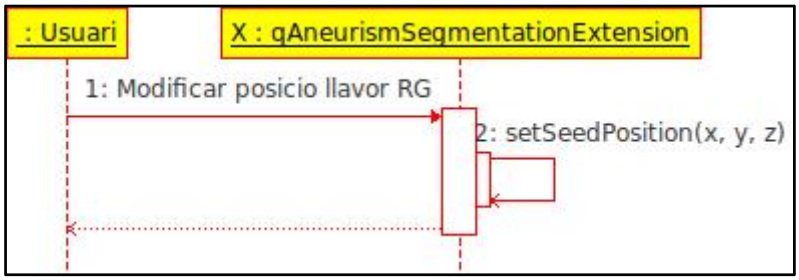


Figura 36: Diagrama de seqüència de posicionar llavor.

4.3.3. Actualitzar regió d'interès

Fitxa de cas d'ús d'actualitzar regió d'interès

Cas d'ús	Actualitzar regió d'interès (ROI)
Descripció	Actualitza la posició de la regió d'interès.
Actors	Usuari.
Precondició	No s'ha iniciat el procés de segmentació.
Flux Principal	1.- Actualitza la posició de la regió d'interès.
Postcondició	S'ha actualitzat correctament la posició de la posició d'interès, cosa que ha quedat reflectida sobre el primer visor 2D.

Diagrama de seqüència

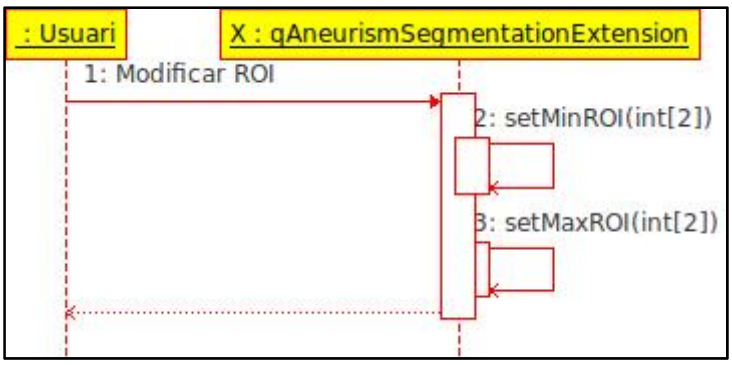


Figura 37: Diagrama de seqüència d' actualitzar regió d'interès.

4.3.4. Actualitzar llindar superior del thresholding

Fitxa de cas d'ús

Cas d'ús	Actualitzar llindar superior del thresholding
Descripció	Actualitza el valor del llindar superior pel procés de thresholding.
Actors	Usuari.
Precondició	Encara no hem iniciat el procés de segmentació.
Flux Principal	1.- Si el nou valor del llindar superior és menor que l'actual valor del llindar inferior. 1.1.- Assignem aquest valor també al llindar inferior. 2.- Si no existeix la màscara destinada a mostrar el thresholding. 2.1.- Crea la màscara. 3. Modifica la màscara per aplicar el filtre de thresholding sobre el volum principal. 4. Actualitza el primer visor 2D.
Postcondició	El valor del llindar superior s'ha actualitzat i és superior o igual al del llindar inferior. Es mostra la màscara de thresholding al primer visor superposada a la vista del volum original.

Diagrama de seqüència

Fixem-nos que tan en aquest diagrama con el pròxim (actualitzar llindar inferior del thresholding) ens encarregarem de mantenir sempre al llindar superior per sobre o al mateix nivell que el llindar inferior. Un cop controlat aquest cas, aplicarem el mètode i actualitzarem el visor.

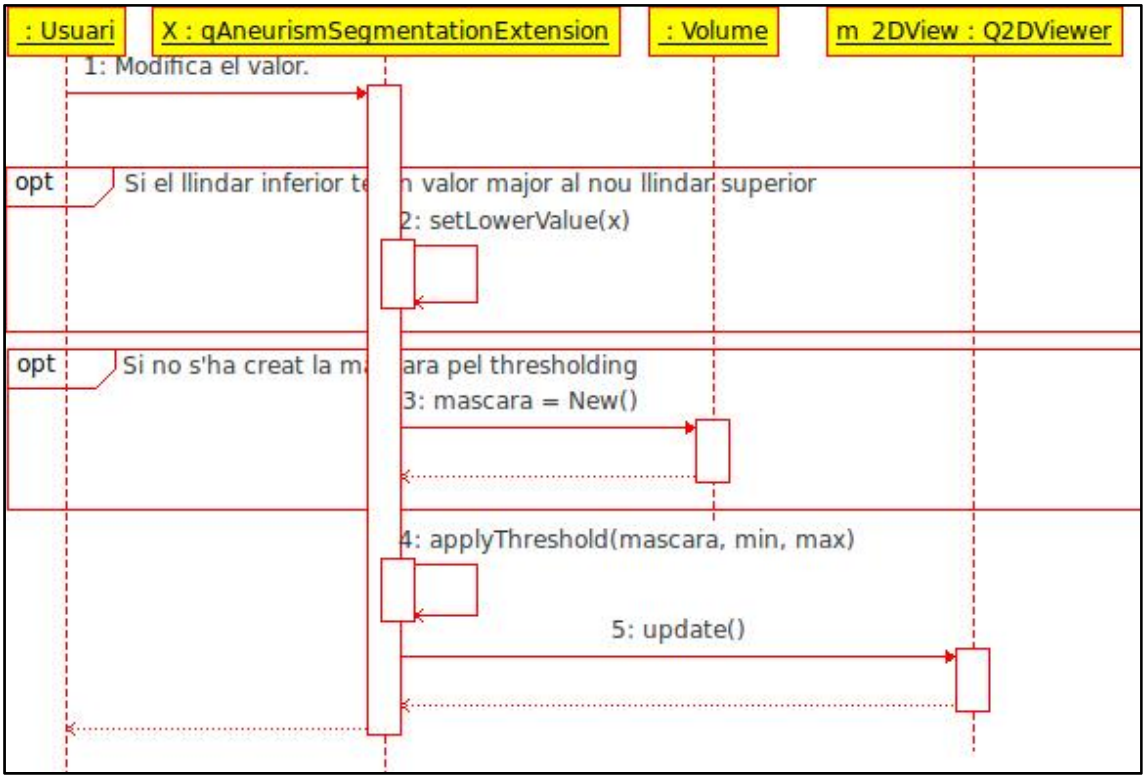


Figura 38: Diagrama de seqüència d'actualitzar llindar superior del thresholding.

4.3.5. Actualitzar llindar inferior del thresholding

Fitxa de cas d'ús

Cas d'ús	Actualitzar llindar inferior del thresholding
Descripció	Actualitza el valor del llindar inferior pel procés de thresholding.
Actors	Usuari.
Precondició	Encara no hem iniciat el procés de segmentació.
Flux Principal	1.- Si el nou valor del llindar inferior és major que l'actual valor del llindar superior. 1.1.- Assignem aquest valor també al llindar superior. 2.- Si no existeix la màscara destinada a mostrar el thresholding. 2.1.- Crea la màscara. 3. Modifica la màscara per aplicant el filtre de thresholding sobre el volum principal. 4. Actualitza el primer visor 2D.
Postcondició	El valor del llindar inferior s'ha actualitzat i és inferior o igual al del llindar superior. Es mostra la màscara de thresholding al primer visor superposada a la vista del volum original.

Diagrama de seqüència

Fixem-nos que tan en aquest diagrama con l'anterior (actualitzar llindar superior del thresholding) ens encarregarem de mantenir sempre al llindar superior per sobre o al mateix nivell que el llindar inferior. Un cop controlat aquest cas, aplicarem el mètode i actualitzarem el visor.

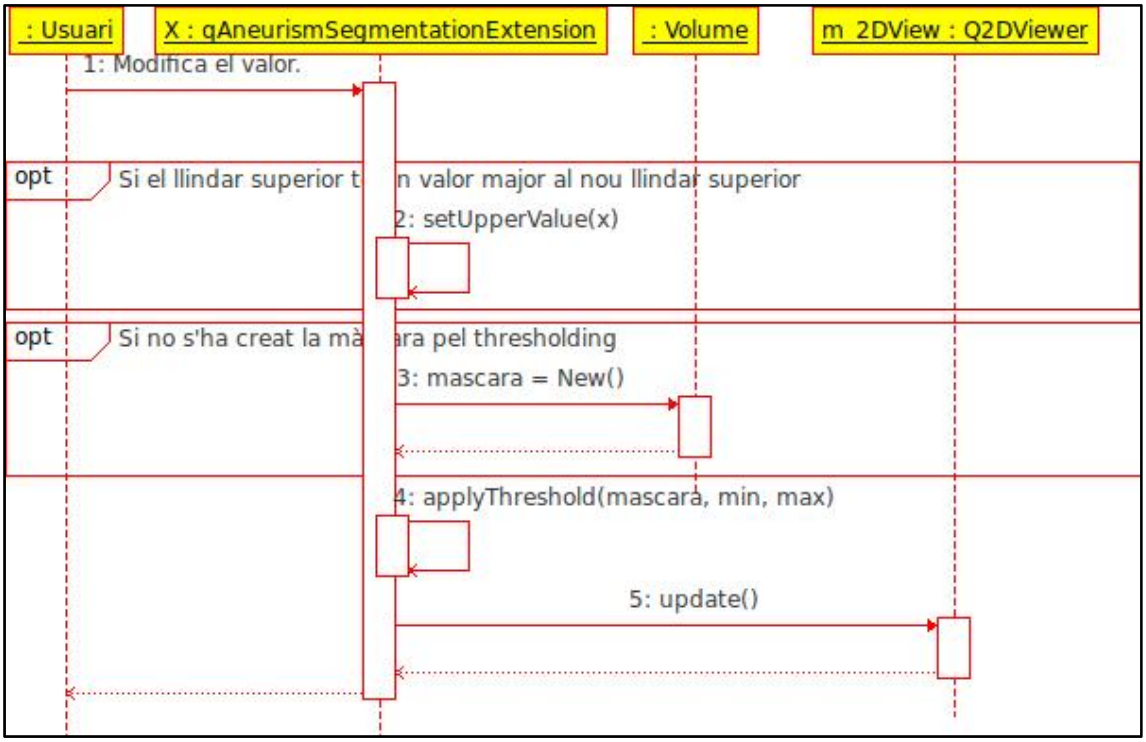


Figura 39: Diagrama de seqüència d'actualitzar llindar inferior del thresholding.

4.3.6. Iniciar segmentació

Fitxa de cas d'ús

Cas d'ús	**Iniciar segmentació**
Descripció	Segmenta la imatge utilitzant l'algoritme del region growing.
Actors	Usuari.
Precondició	L'usuari ha col·locat la llavor, definit una ROI i declarat una mida de llavor.
Flux Principal	1.- Si hem establert un interval de thresholding. 1.1- S'assigna la màscara generada com a volum a segmentar. 2.- Altrament, establim el mainVolume com a volum a segmentar. 3. Executem l'algoritme amb els valors de posició de la llavor, posició de la ROI i mida de llavor. 3.1.- Extraiem la llesca actual del volum. 3.2.- Apliquem l'algoritme de *region growing* sobre una llesca. 3.3.- Apliquem l'esquema morfològic *ERODE-DILATE* sobre la llesca per eliminar soroll. 3.4.- Tornem a aplicar el *region growing* a la màscara resultant del punt 3.3. 3.5.- Estenem l'aplicació del *region growing* al conjunt total de les llesques del volum. 4.- S'actualitza el 2DView i el 2DView2. 5.- Es desactiven els elements de la interfície d'usuari que fan referència a la segmentació i s'habiliten els referents a l'etapa següent.
Postcondició	Hem generat una màscara pertanyent a la regió segmentada sobre el volum inicial i la visualitzem per pantalla.

Diagrama de seqüència

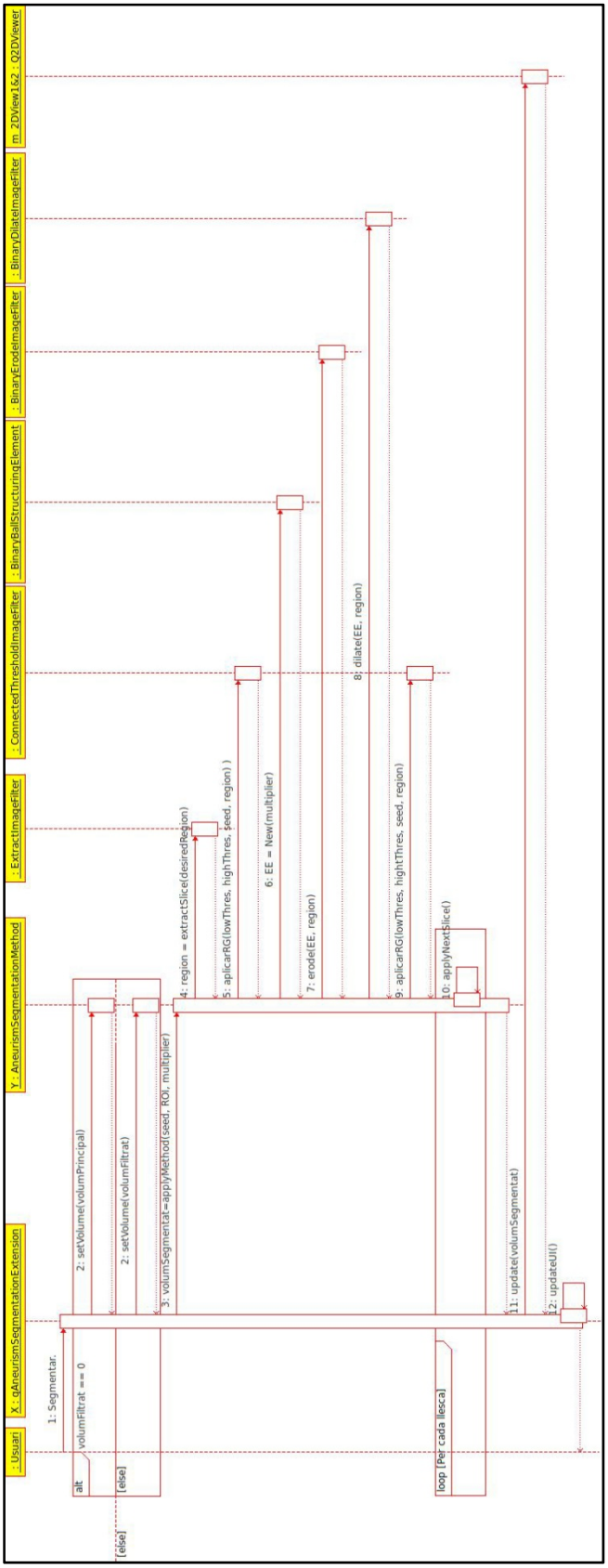


Figura 40: Diagrama de seqüència d'iniciar segmentació.

5. Mòdul de reconstrucció

Aquí explicarem com reconstruir la imatge a partir de la màscara obtinguda en cada llesca, fruit de la segmentació. El primer que farem serà obtenir el conjunt de *centerlines* que definiran cada llesca de la imatge. Passem a veure el concepte de *centerline*:

5.1. Centerlines

Les *centerlines* són els principals descriptors de la forma dels vasos. Tot i que el concepte del que representa una "línia central" és més o menys intuïtiu, la seva definició matemàtica no és única. S'han proposat una gran quantitat de mètodes, tan a partir d'imatges angiogràfiques com de models 3D.

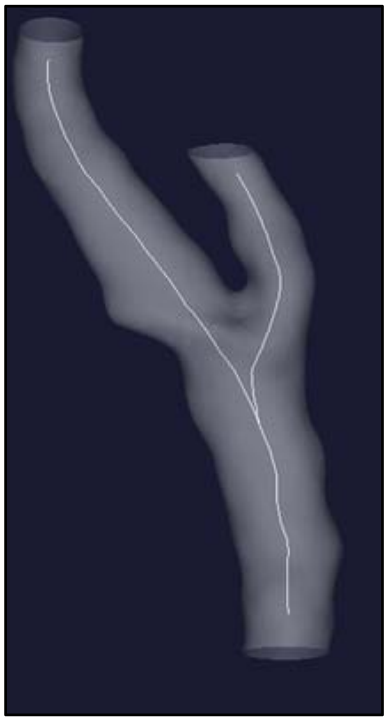


Figura 41: Una centerline en un model 3D.

Passem a veure cada un dels mètodes posats a prova per tal de generar-les en cada llesca.

5.1.1. Usant mapes de distància: DanielssonDistanceMapImageFilter

Dins del conjunt de les ITK trobem una classe que implementa l'algoritme de Danielsson per a obtenir mapes de superfície. Aquesta és la classe itk::DanielssonDistanceMapImageFilter. A continuació el diagrama de col·laboració de la classe dins el conjunt de les ITK:

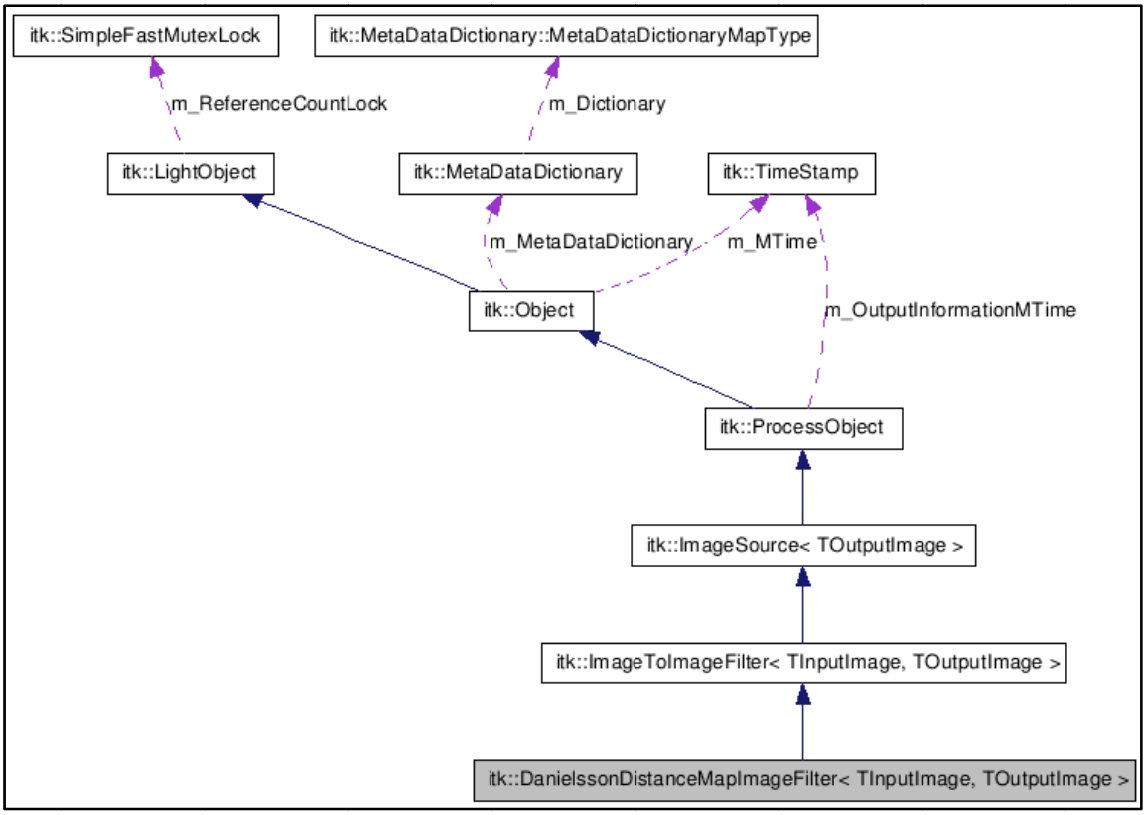


Figura 42: Diagrama de classes de DanielssonDistanceMapImageFilter.

Aquesta classe ens proporciona una sortida com la que segueix:

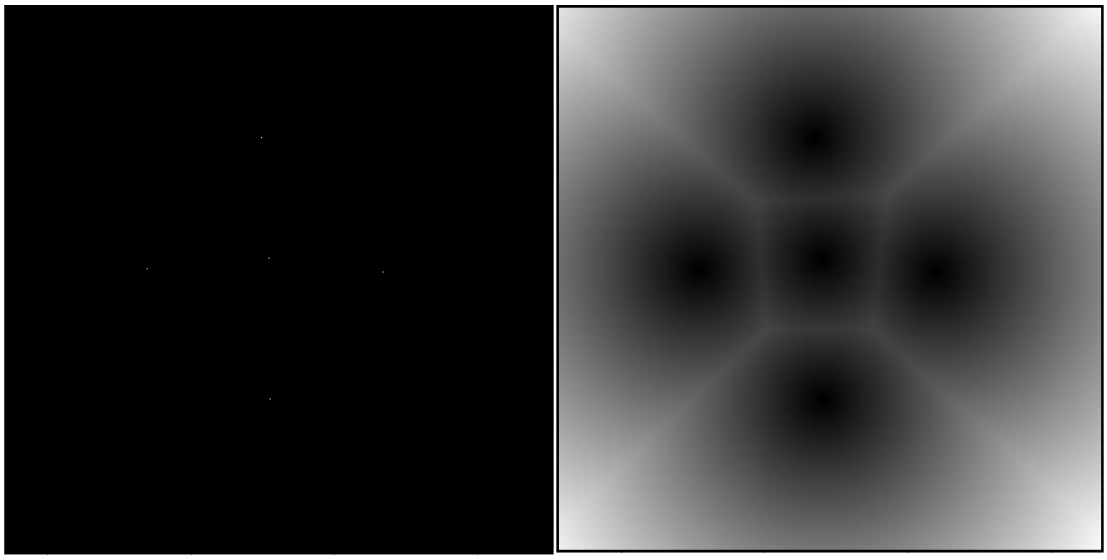


Figura 43: A l'esquerra, l'imatge inicial. A la dreta, el resultat d'aplicar l'algoritme de Danielsson per a generar el distance map.

La idea inicial era recórrer el *distance map* obtingut com a resultat de l'aplicació de l'algoritme i generar una nova màscara, la qual recorreríem a posteriori quedant-nos només amb el píxels "més negres" (menor valor d'intensitat).

Problema

Aquest mètode no va donar el resultat esperat ja que en objectes no puntuals pràcticament tot el conjunt de l'objecte prenia valor d'intensitat 0. Així, aplicant aquesta idea sobre la imatge acabàvem obtinguen una màscara similar a la que teníem just després de la segmentació. Vam plantejar la següent solució:

5.1.2. Més mapes de distància

Dins el conjunt de les ITK, trobem la classe itk::SignedDanielssonDistanceMapImageFilter.

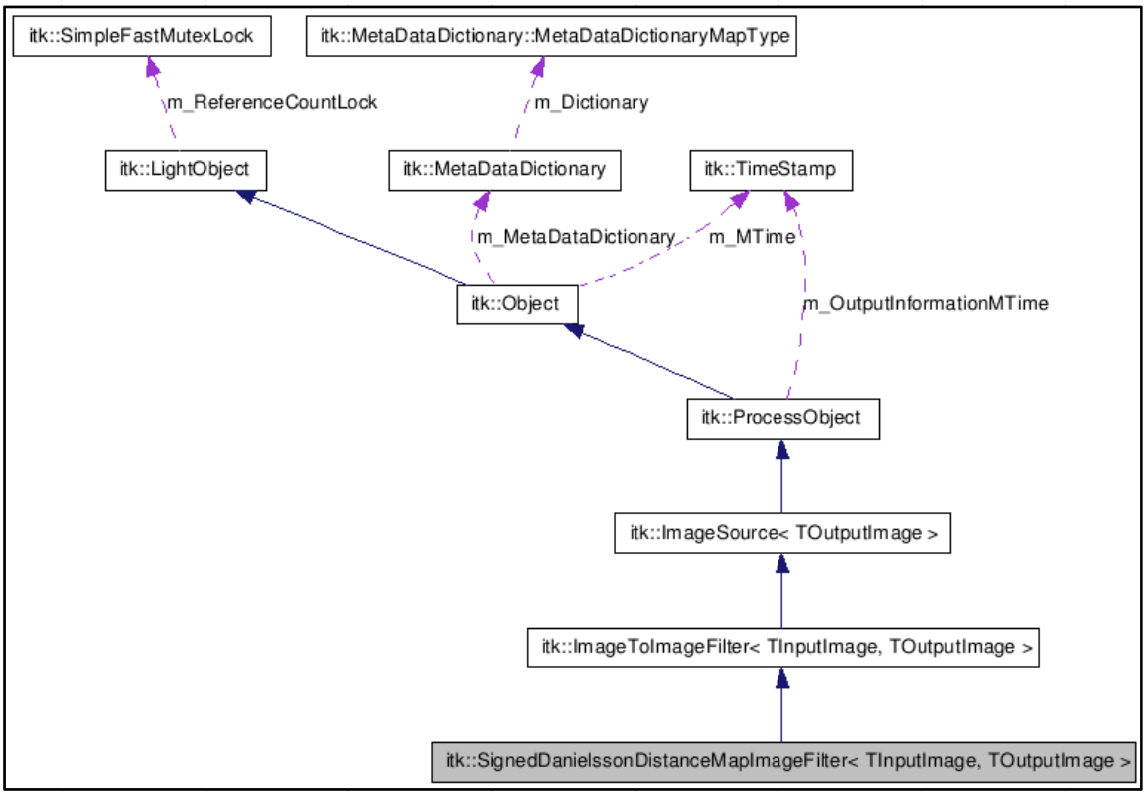


Figura 44: Diagrama de classes de SignedDanielssonDistanceMapImageFilter.

Aquesta classe ens proporciona una sortida com la que segueix:

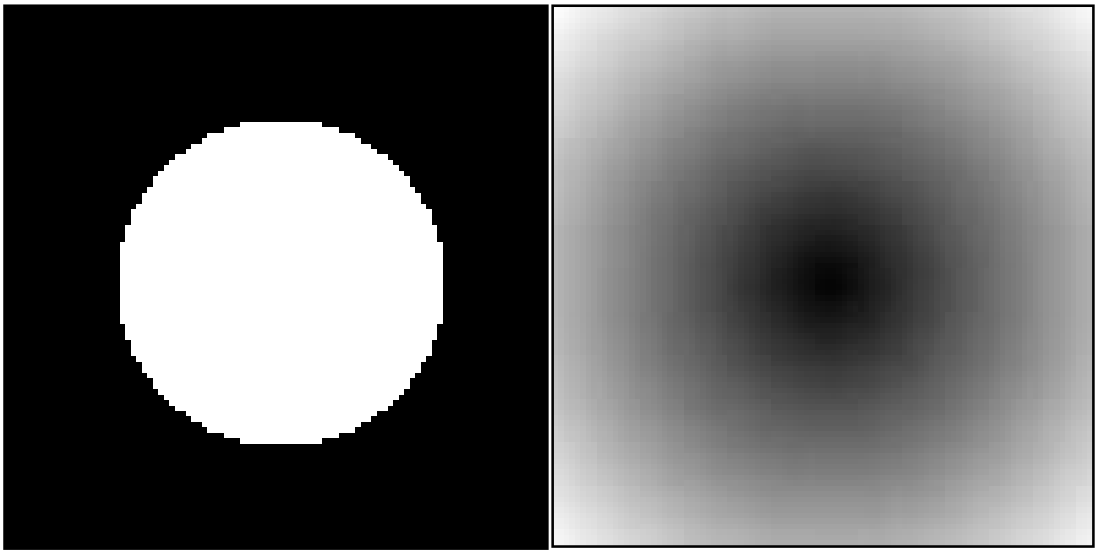


Figura 45: El filtre SignedDanielssonDistanceMapImageFilter aplicat sobre una imatge binària d'un cercle.

A diferència de l'anterior mètode, aquest genera una màscara amb valors negatius en els punts pertanyents a la zona segmentada, essent majors com més ens acostem al llindar entre regió pertanyent a l'objecte i fons. Recorrent la màscara resultant de cada llesca podem obtenir el menor valor d'intensitat present en la imatge. Després podíem tornar a recórrer la màscara "quedant-nos" només amb els píxels que posseïssin aquest valor, generant-ne la línia central.

Problema

En una mateixa llesca podia haver-hi present més d'una regió segmentada, o una sola regió segmentada amb diferent amplitud en els seus punts. Això provocava que no tota la zona en la que hauria de torbar-se la *centerline* disposés del mateix valor negatiu d'intensitat. Podíem provar a establir un "llindar" (per exemple, el menor valor d'intensitat present més dues unitats), però el resultat distava de ser l'esperat.

5.1.3. Cercant alternatives: la classe itk::BinaryThinningImageFilter

La classe, dins les ITK:

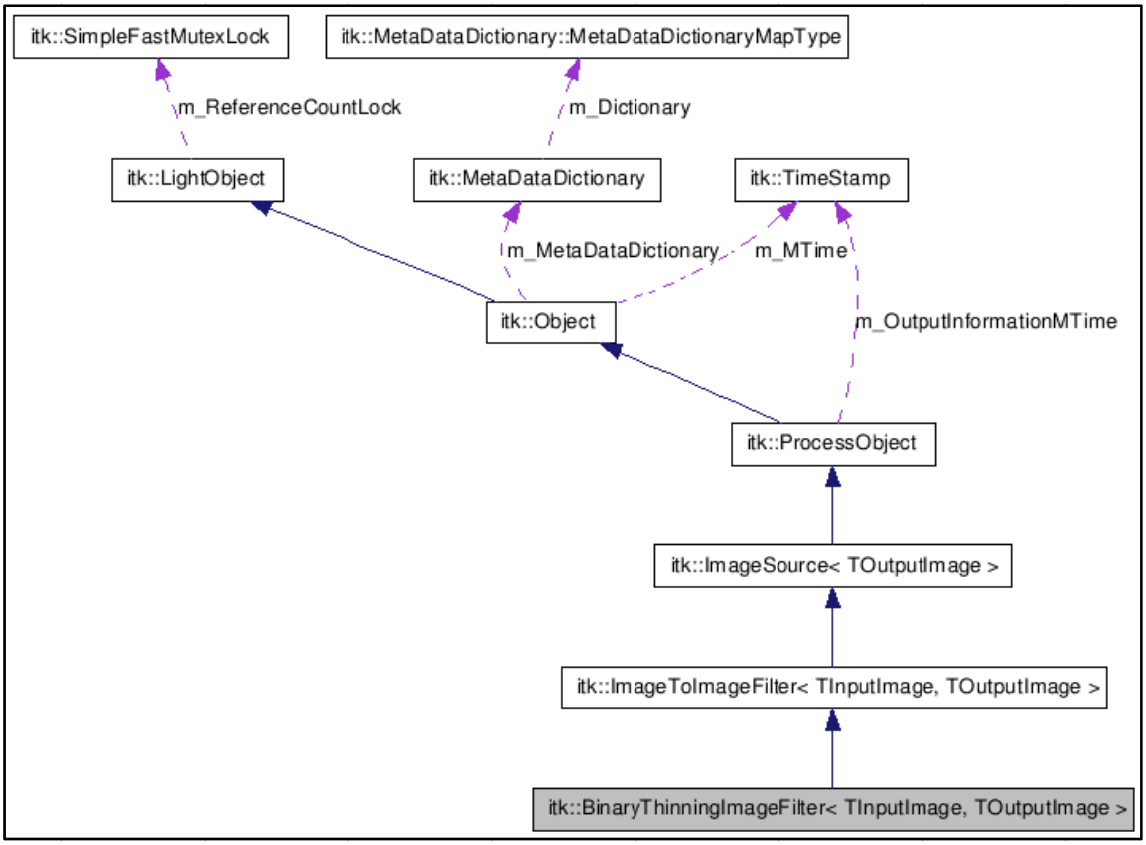


Figura 46: Diagrama de classes de BinaryThinningImageFilter.

Aquest filtre ITK implementa un algoritme seqüencial que “aprima” cada zona generant-ne l'esquelet. El cost computacional és notablement més alt que el de la resta de mètodes provats, tot i que la seva sortida és just la esperada. La duració de l'algoritme va fortament lligada la mida de la imatge.

Figura 47: Starviewer, en la pantalla de baix a l'esquerra podem apreciar la centerline generada a partir de la superfície segmentada, usant el filtre que acabem de veure.

5.2. Reconstruint l'esquelet

Partint de l'esquelet de cada llesca (*centerline*), procedirem a reconstruir el model de l'aparell vascular. Així, el vas vindrà definit pel conjunt de punts que en defineixen la trajectòria. Dins l'entorn starviewer i, més concretament, del conjunt de les ITK, ens caldrà definir el concepte de SpatialObject.

5.2.1. SpatialObject

L'entorn de treball que representen els *spatial objects* dins del conjunt de les ITK es basa en la filosofia de que les tasques de segmentació i registre d'una imatge són en realitat una tasca de processament d'objectes. Així, la imatge no és sinó un mitjà per a representar els objectes d'interès, i el processament i l'anàlisi de les dades pot i ha de tenir lloc a nivell d'objecte, independentment del mitja utilitzat per a representar-lo.

Els *spatial objects* proporcionen una interfície comú per a l'accés a l' ubicació física i a les propietats geomètriques dels objectes i de les relacions entre ells, independentment del mitjà usat per a representar aquests objectes. Això és, accés a la representació interna mitjançant l'*spatial object* en forma de llista de punts interns a l'objecte, de representació continua o paramètrica de la superfície o dels punts interns de l'objecte, etc.

A més, donen suport a un conjunt de tasques de segmentació, registrat i visualització de volum o superfície i a un conjunt de funcions de visualització i anàlisi, de manera que estenen el concepte de *scene graph* (graf que dona lloc a l'escena) emparant-lo amb tot un seguit de funcionalitats afegides. Usant *spatial objects* podrem:

- Crear una estructura jeràrquica en forma d'arbre definint relacions de parentesc entre objectes. Així, el sistema vascular contindrà un conjunt de vasos sanguinis organitzats en una estructura amb forma d'arbre.
- Tenir coneixement de si un determinat punt de l'espai cau dins d'un objecte o, opcionalment, sobre algun dels seus fills.
- Especificar la transformació sobre el sistema de coordenades que relaciona el sistema de coordenades del pare amb el sistema de coordenades del fill.
- Conversió "de" i "cap a" imatges.
- Disposarem de tota una col·lecció de classes derivades especialitzades en la representació de tipus concrets d'objectes.

En concret, nosaltres ens fixarem en una classe derivada de la classe SpaceObject, la classe itk::VesselTubeSpatialObject.

5.2.2. VesselTubeSpatialObject

És una classe derivada de la classe TubeSpatialObject, que a la vegada deriva de la classe SpatialObject, per a la representació dels vasos sanguinis.

Diagrama de classes de itk::VesselTubeSpatialObject *(ampliable prement ctrl+moviment de la rodeta del ratolí):*

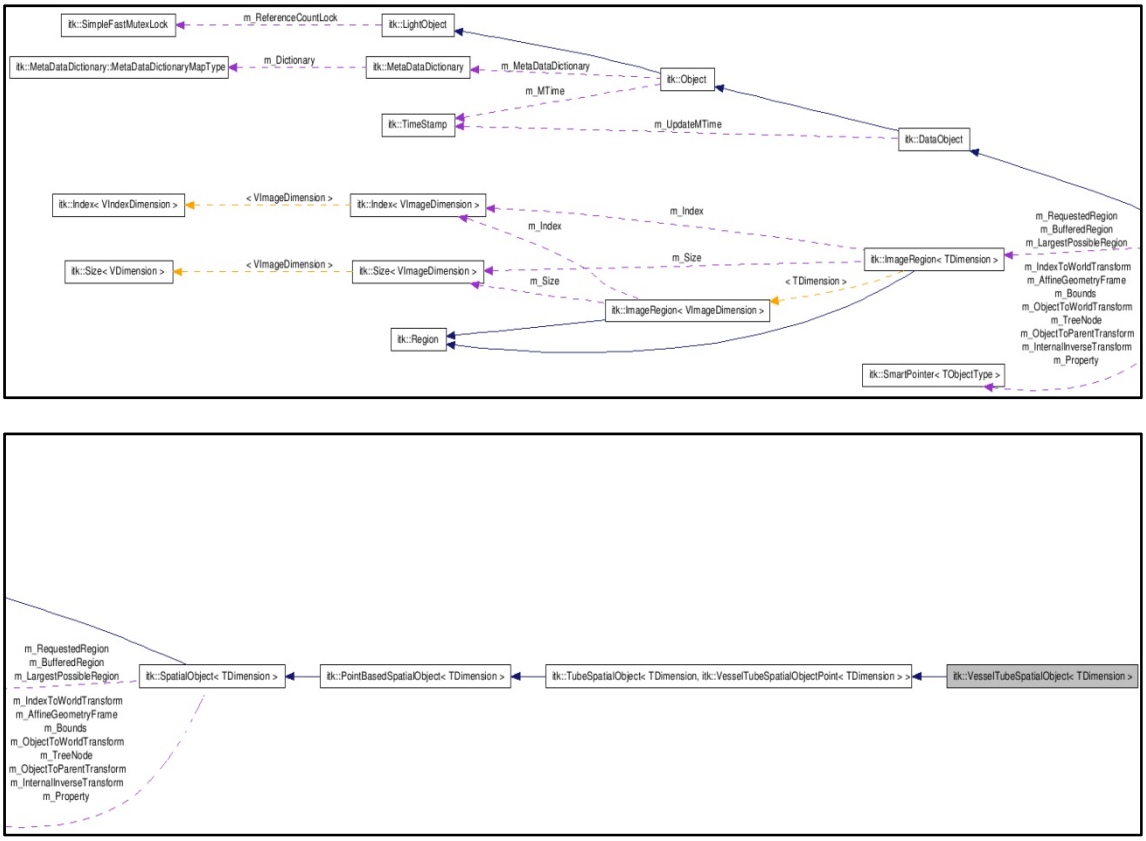


Figura 48: Diagrama de classes de VesselTubeSpatialObject.

Un vas sanguini quedarà definit per una llista de punts, definint en cada un la posició i el radi del tub en aquell punt. A més, també haurem de definir algun altre paràmetre com el color, o si el punt forma part d'una nova branca. Finalment assignarem un identificador al conjunt de punt i l'unirem a l'estructura jeràrquica, en la posició que correspongui.

5.2.3. L'algoritme

L'algoritme segueix un esquema de backtracking.

Backtracking

L'esquema de *backtracking* o "tornada enrere" és una estratègia per a trobar solucions a problemes que satisfan restriccions.

En la seva forma bàsica, la idea de backtracking és similar a un recorregut en profunditat d'un graf dirigit. El graf en qüestió acostuma a ser un arbre o, com a mínim, no conté cicles.

Pseudocodi

```
Backtracking (↕X[1 . . . i ]: TSolució, ↑ok: B)
variables L: LlistaComponents
inici
        si EsSolució (X) llavors ok   CERT
        altrament
                ok   FALSO
                L=Candidats (X)
                mentre ¬ok ^ ¬buida (L) fer
                X[i + 1]   Cap (L); L   Resta (L)
                Backtracking (X, ok)
                finmentre
        fisi
fi
```

Aprofitarem l'esquema de manera que tractarem el conjunt de llesques com a un arbre, explorant-lo des d'un punt inicial de la primera llesca, subministrat per l'usuari, de manera que cada branca present en una llesca representarà un node d'un graf. Prendrem el supòsit com a cert que en la part del sistema vascular que estem segmentant no hi tenen lloc estructures vasculars cícliques. Així, en un mateix vas a un píxel el seguirà un altre (hem obtingut *centerlines* d'amplada un píxel). Quan des d'un píxel podem accedir a més d'un ens trobarem davant d'una ramificació. Ens guardarem aquest punt i continuarem per la primera de les possibilitats detectades. Així explorarem fins al final d'una branca i, quan no puguem continuar, comprovarem si adjacent a l'últim píxel però en una llesca de nivell inferior o superior hi ha una nova *centerline*, la qual considerarem continuació de la actual i, seguint aquest esquema, explorarem el vas fins al final. Després anirem "tornant enrere", i seguint el mateix procés en cada un dels vasos recorrerem tot l'esquema, generant una estructura similar.

Problemàtica

El principal problema rau en que lligar aquesta forma de reconstrucció amb el sistema de generació de *centerlines* pot donar resultats indesitjats. Així, nosaltres hem generat les *centerlines* en una màscara llesca a llesca. Un mateix element podia estar present en més d'una llesca, per lo que finalment haurem generat més d'una *centerline* per a un sol objecte. Això provocarà que l'element reconstruït pugui diferir força del model original, generant resultats massa allunyats de la realitat.

5.2.4. Aproximació a la solució

Una primera solució, que per contra requerirà d'un major grau d'interacció per part de l'usuari, consisteix en que aquest proveeixi al mètode d'una sèrie de punts que formin part del conjunt de branques desitjat. Així, si el mètode explora una branca i finalment no hi detecta cap punt dels que l'usuari ha subministrat, la descartarà, considerant-la "no vàlida" per al model final.

*Nota: Aquest procés s'integrarà al procés de visualització. Així, quan l'usuari faci clic al botó "visualitzar" de la interfície d'usuari, el primer pas per aquesta serà la reconstrucció de l'esquelet. Tot i això, cal tenir present que és una tasca pura d'aquest mòdul.

5.3. Diagrames del mòdul de reconstrucció

Seguint els passos del que hem fet en l'anterior mòdul, passem a veure el diagrama de casos d'ús que engloba el conjunt de funcionalitats accessibles per a l'usuari dins de l'entorn de la reconstrucció. Després veurem cada una de les accions que hi ha representades, per separat.

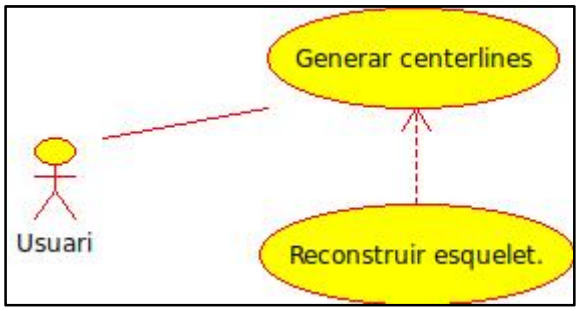


Figura 49: Diagrama de casos d'ús del mòdul de reconstrucció.

Fixem-nos que el cas d'ús "reconstruir esquelet" no és accessible directament per l'usuari. Això és perquè és un cas d'ús que, tot i que és una representa una funcionalitat complerta per si sol, es troba englobat dins del procés de visualització, de manera que representa la primera etapa en la generació del model prèvia a la mostra per pantalla. Per tant, tindrà lloc un cop l'usuari accedeixi a la funcionalitat "visualitzar".

5.3.1. Generar centerlines

Fitxa de cas d'ús

Cas d'ús	Generar centerlines
Descripció	Genera una màscara a partir del resultat de la segmentació visualitzant les centerlines de cada llesca.
Actors	Usuari.
Precondició	Procés de segmentació finalitzat i centerlines no generades.
Flux Principal	1.- Creem un nou volum i l'assignem a m_segmentationMethod. 2.- Executem el mètode applyCenterlines de la mateixa classe. 3.- Actualitzem els 2DViewer3.
Postcondició	Centerline generada en cada llesca i visualitzada correctament.

Diagrama de seqüència

(2) i (3) Generarem un nou volum i l'assignarem a la classe que implementa el mètode generador de les *centerlines*. (4), (5), (6) i (7) Aplicarem el mètode al volum a partir de la màscara de segmentació i actualitzarem el visor.

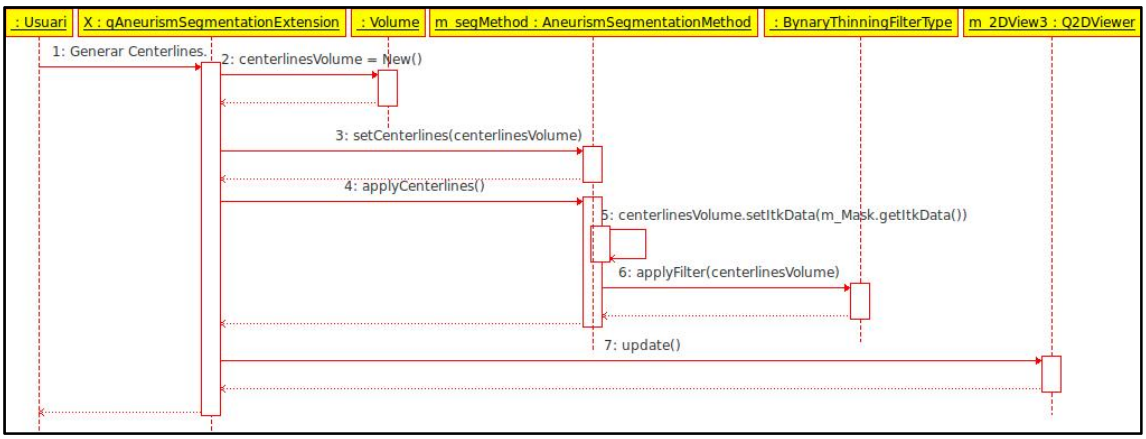


Figura 50: Diagrama de seqüència de generar centerlines.

5.3.2. Reconstruir esquelet

Fitxa de cas d'ús

Cas d'ús	**Reconstruir esquelet**
Descripció	Reconstrueix l'esquelet del sistema vascular.
Actors	Usuari.
Precondició	Procés de segmentació finalitzat, *centerlines* generades i punts subministrats (de forma similar a establir llavor del RG).
Flux Principal	1.- Creem un objecte *VesselTubeSpatialObject*, que representarà l'arrel de l'arbre vascular. 2.- Inicialitzem una llista amb la col·lecció de punts subministrats per l'usuari. 3.- Executem el mètode de reconstrucció passant com a paràmetres els objectes definits en 1 i 2.
Postcondició	Tenim l'objecte *VesselTubeSpatialObject* completat amb el conjunt format per l'estructura dels vasos sanguinis.

Diagrama de seqüència

(2) i (3) Generarem la llista de punts, (4) inicialitzarem l'objecte estructura i (6) executarem el mètode que encapsula l'algoritme de reconstrucció.

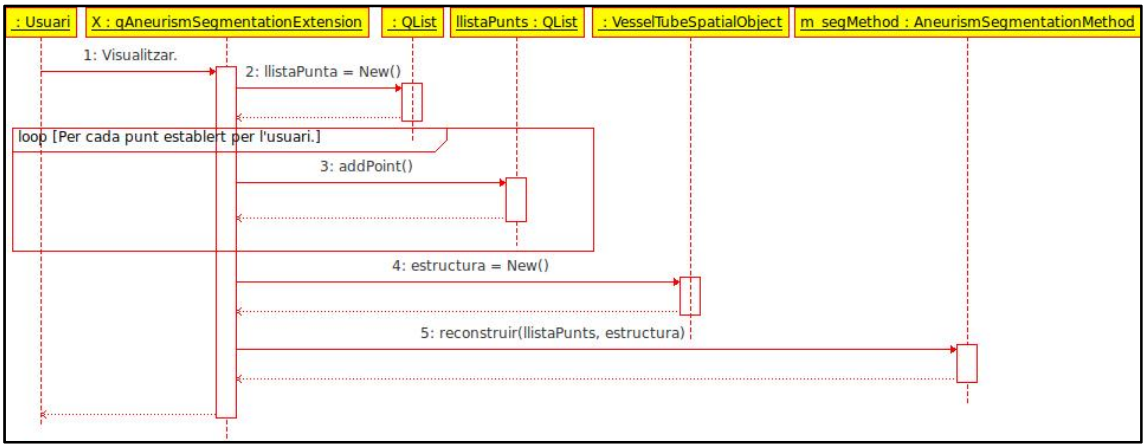


Figura 51: Diagrama de seqüència de reconstruir esquelet.

6. La visualització

En aquest apartat explicarem el procés de visualització dut a terme en el projecte a fi de mostrar per pantalla el volum 3D renderitzat a partir de la reconstrucció de l'esquelet del sistema vascular. Tenint en compte que aquesta reconstrucció és un procés costós i obert a millores, donarem l'alternativa de visualitzar el model generat directament a partir de la segmentació. Comencem explicant el procés de conversió del model generat usant els SpatialObject a Volum. Passem a veure la classe itk::SpatialObjectToImageFilter.

6.1. De Spatial Object a Volume.

Per tal de passar de l'estructura formada per spatial object al volum necessari per a la visualització utilitzarem la classe itk::SpatialObjectToImageFilter.

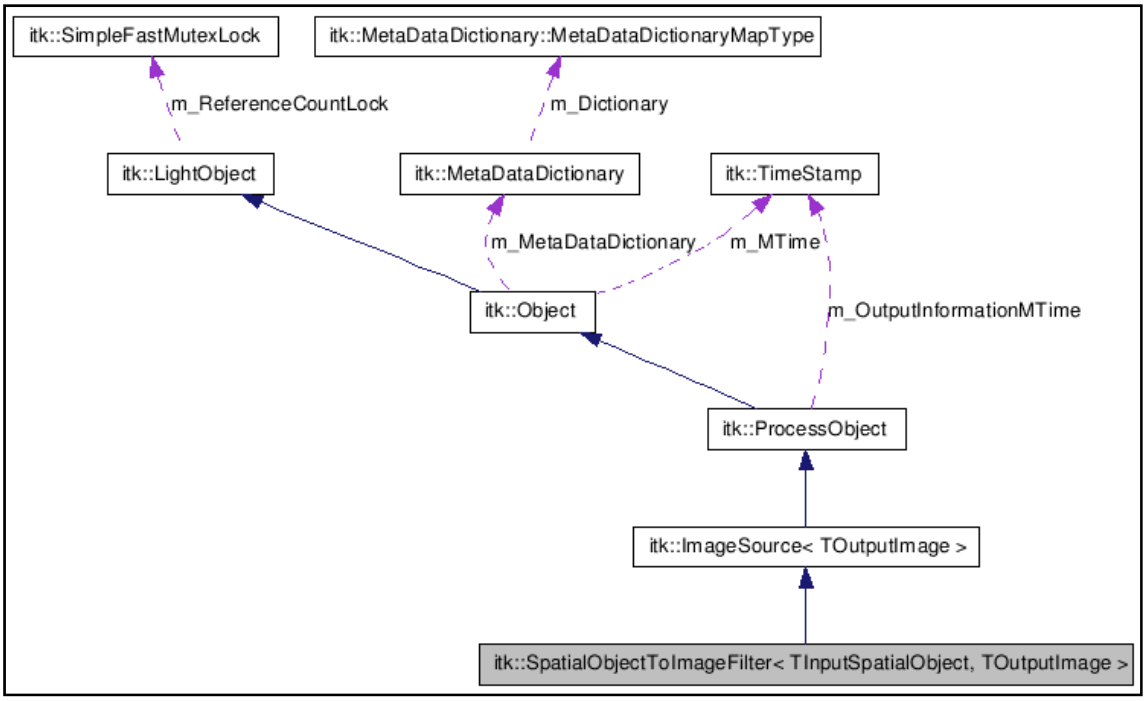


Figura 52: Diagrama de classes de SpatialObjectToImageFilter.

Aquesta és la classe bàsica utilitzada per a generar una imatge binària a partir d'una estructura d'objectes SpatialObject, o classes derivades. Aquesta classe comprova, per cada píxel de la imatge, si aquest cau dins d'un spatial object definit en el model i, si és el cas, el pinta generant així una màscara representativa d'aquest com a sortida.

6.2. Visualitzant un model 3D a partir d'un objecte Volume.

En aquest punt, tan si ens hem decantat per l'alternativa de visualitzar directament el model segmentat com si hem procedit a reconstruir-ne l'esquelet, disposem d'un objecte Volum

representatiu. Utilitzarem algunes de les eines que ens proporcions l'entorn starviewer per a generar automàticament la visualització 3D.

6.2.1. El visor 3D.

La classe Q3DViewer rep com a entrada un Volum, i ens genera automàticament la visualització 3D, prèvia configuració de la tècnica de visualitzat que optem per utilitzar. Entre les tècniques de visualitzat que permet aquesta classe trobem la tècnica de Ray Casting, Contouring, Iso surfaces...

Nosaltres renderitzarem utilitzant la tècnica del Ray Casting.

6.2.2. El Ray Casting.

L'algoritme de ray casting, o algoritme de traçat de raigs, determina les superfícies visibles en l'escena que es vol sintetitzar mitjançant el llançament de raigs des de l'observador (càmera) fins a l'escena a través de la imatge. Es calculen les interseccions del raig amb els diferents objectes de l'escena i aquella intersecció més propera a l'observador determina quin és l'objecte visible.

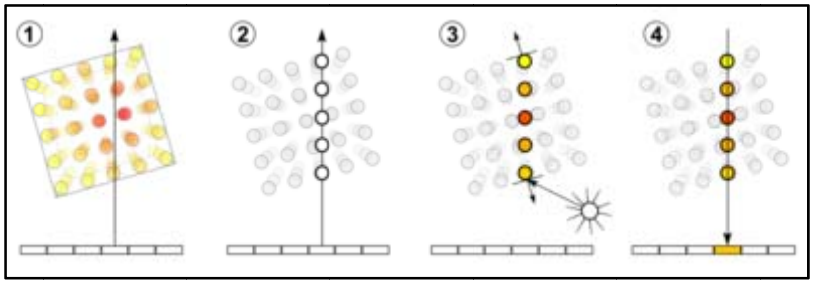


Figura 53: Els quatre passos fonamentals de la tècnica del ray casting. 1.Llançament de raigs. 2.Mostreig. 3.Sombrejat. 4.Composició de l'escena.

L'algoritme, pseudocodi.

```
Image RayCasting(camera, escena, ample, alt) {
        Imagte ima = new Imatge(ample, alt);
        for (int i=0; i< ample; i++)
                for (int j=0; j< alt; j++) {
                        Raig ray = ConstruirRaigAtravespíxel(camera, i, j);
                        Interseccio punt = TrobarInterseccio(ray, escena);
                        ima[i][j] = getColor(punt);
                }
        }
        return ima;
}
```

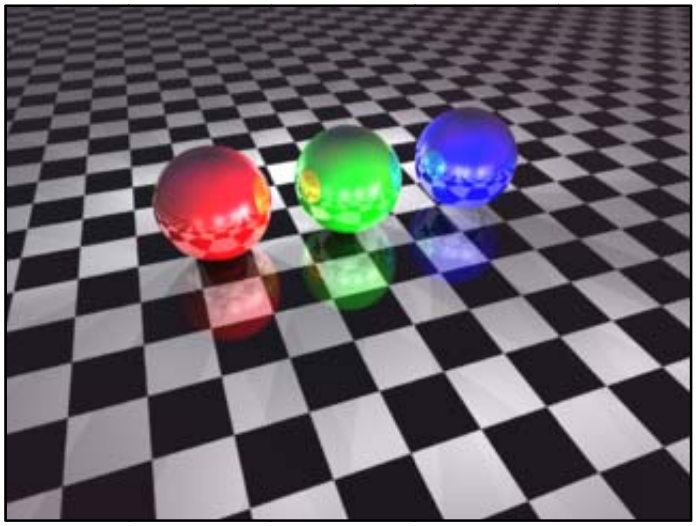


Figura 54: Imatge generada utilitzant l'algoritme de Ray Casting.

Una possible millora sobre el mòdul seria permetre a l'usuari escollir entre algunes de les diferents opcions de rendering que ens permet el visor 3D, com el contouring o mitjançant iso superfícies.

El contouring genera una sortida poligonal aplicant sobre el contorn una malla formada per triangles arbitraris.

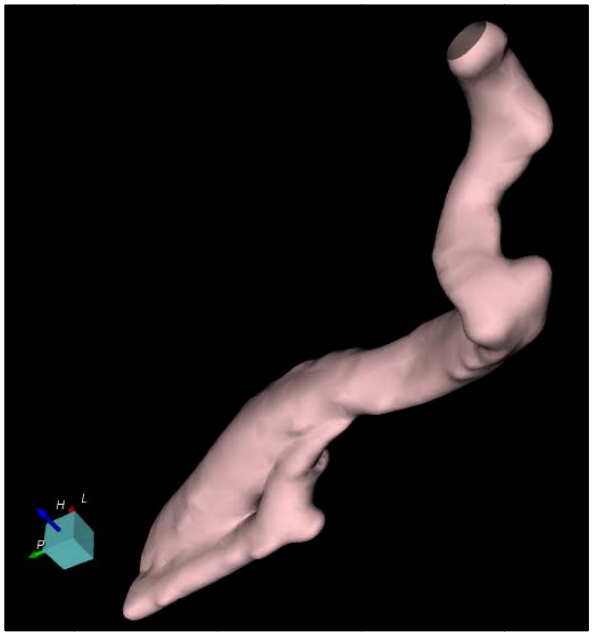


Figura 55: Renderitzat del vas aplicant la tècnica de contouring.

Les iso surfaces generen una malla de triangles que cobreixen una superfície, definida per un valor constant anomenat iso valor.

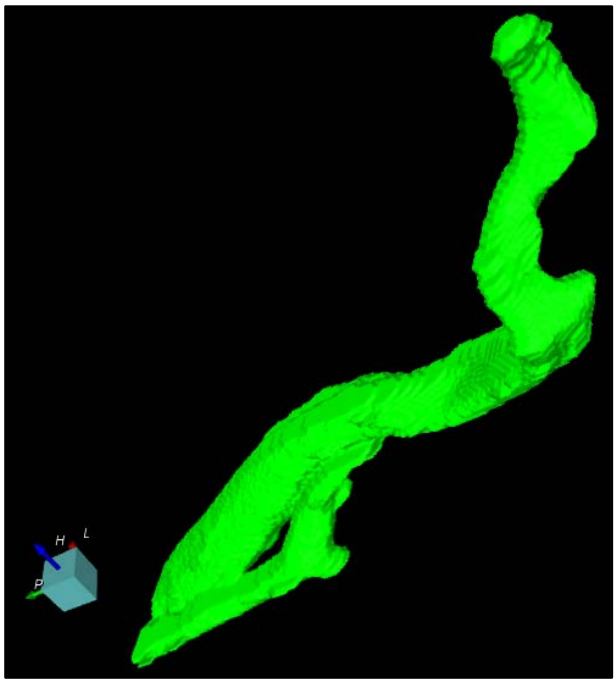


Figura 56: Renderitzat del vas aplicant la tècnica de les iso superfícies.

6.3. Diagrames del mòdul de visualització

En primer lloc, com sempre, el diagrama de casos d'ús particular del mòdul.

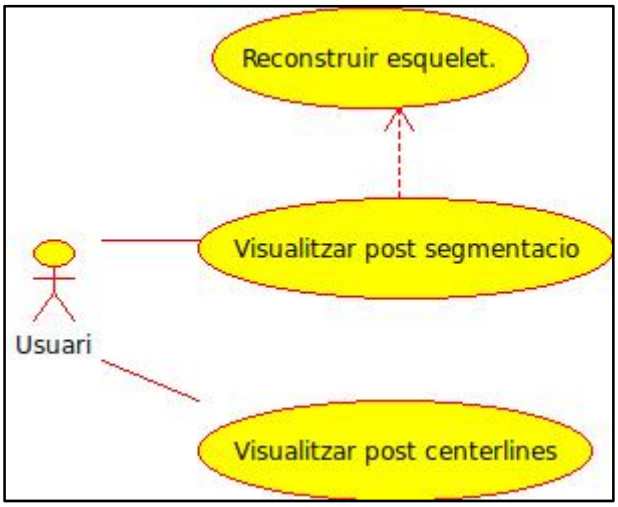


Figura 57: Diagrama de casos d'ús del mòdul de visualització.

Tal i com havíem comentat en l'anterior mòdul, veiem que el procés de visualització fa ús de la funcionalitat "reconstruir esquelet".

6.3.1. Visualitzar post segmentació

Fitxa de cas d'ús

Cas d'ús	Visualitzar post segmentació
Descripció	Aplica la tècnica de RayCasting el volum prèviament segmentat i en mostra el resultat per pantalla.
Actors	Usuari.
Precondició	Disposem del volum sobre el qual aplicar el Ray Casting.
Flux Principal	1.- Assignar el volum al 3DViewer. 2.- Configurar el 3DViewer perquè apliqui la tècnica del Ray Casting. 3.- Donem al visor l'ordre de renderitzar.
Postcondició	Actualitzem la vista del 3DViewer, visualitzant el volum entrat en 3D.

Diagrama de seqüència

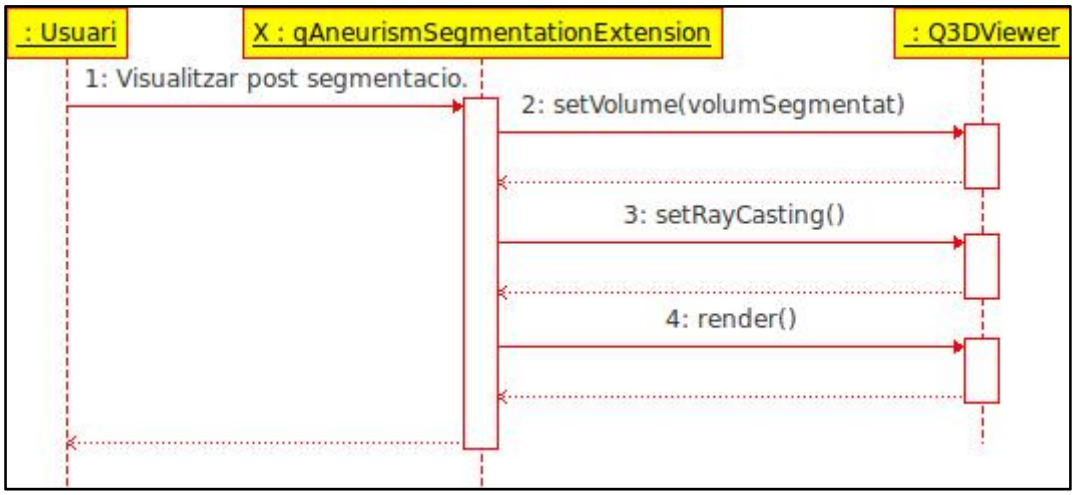


Figura 58: Diagrama de seqüència de visualitzar post segmentació.

6.3.2. Visualitzar post centerlines

Fitxa de cas d'ús

Cas d'ús	**Visualitzar post centerlines**
Descripció	Reconstrueix el model de *centerlines*, genera el volum pertinent i aplica la tècnica de Ray Casting sobre aquest, mostrant-ne el resultat per pantalla.
Actors	Usuari.
Precondició	Disposem del volum sobre el qual aplicar el Ray Casting.
Flux Principal	1.- Reconstruïm l'estructura vascular [*veure reconstruir esquelet*]. 2.- Generem el volum a partir de l'estructura vascular reconstruïda, aplicant SpacialObjectToImageFilter. 3.- Assignem el volum al 3DViewer. 4.- Configurem el 3DViewer perquè apliqui la tècnica del Ray Casting. 5.- Donem al visor l'ordre de renderitzar.
Postcondició	Actualitzem la vista del 3DViewer, visualitzant el volum entrat en 3D.

Diagrama de seqüència

(2) Prèvia reconstrucció de l'esquelet dels vasos i (3) posterior generació de la màscara pertinent, durem a terme el mateix procés que en l'esquema anterior.

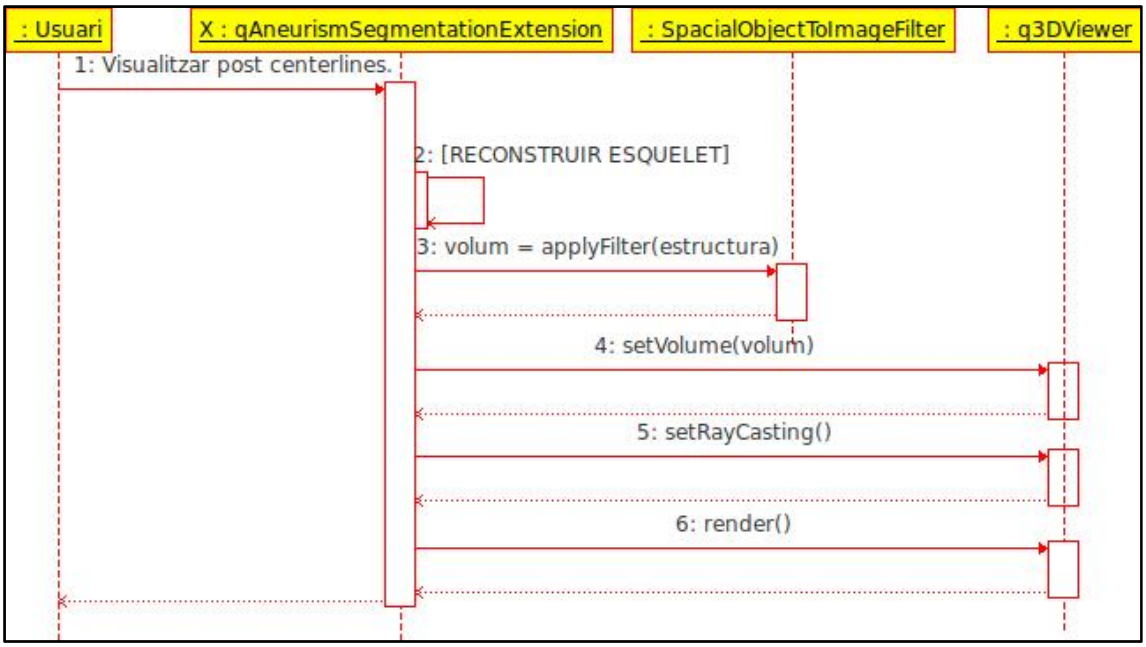


Figura 59: Diagrama de seqüència de visualitzar post centerlines.

7. La interacció

Aquí es tractarà la manera en que l'usuari interactua amb el sistema per tal d'aconseguir obtenir les característiques del vas i, en concret, de l'aneurisma en cas que hi tingui lloc. Plantejarem dues modalitats.

7.1. Primera modalitat

Aquesta modalitat presenta l'avantatge de que no depèn de la correcta representació de l'esquelet reconstruït en el visor 3D. És a dir, és independent del procés més enllà del mòdul de segmentació.

Per explicar-la, ens cal conèixer la manera en que es tracten les imatges en l'entorn de les ITK.

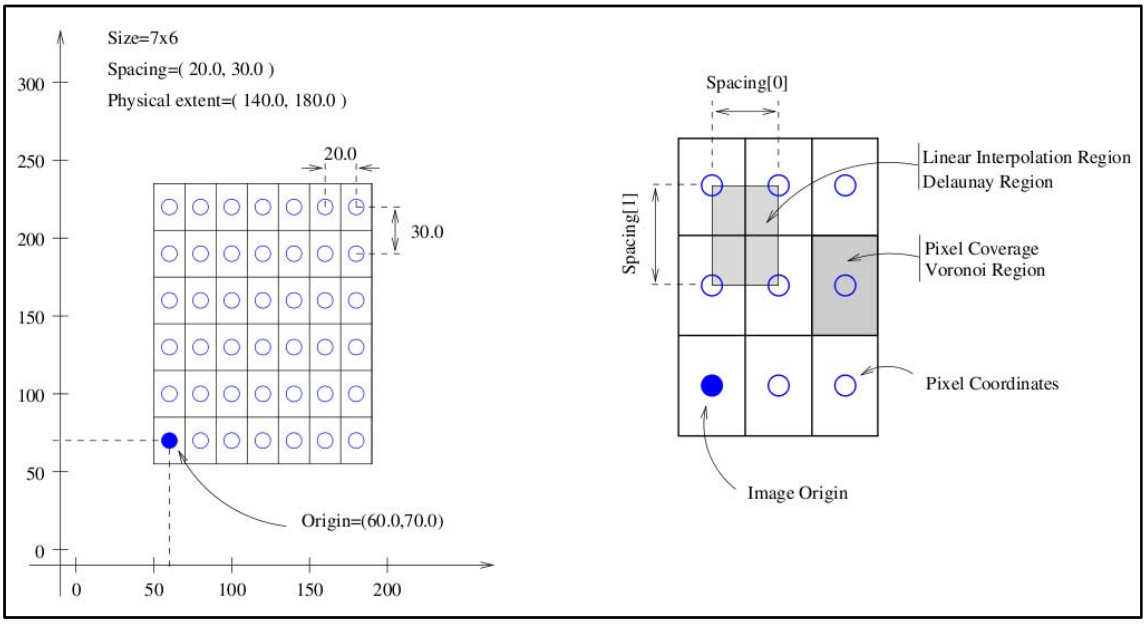


Figura 60: Representació de les imatges en les ITK.

Així, usarem el concepte de *spacing* per a obtenir la distància entre dos píxels. D'aquesta manera, podrem obtenir la distància entre X_1 i X_2 contant la quantitat de píxels que els separen i realitzant una simple multiplicació.

Partint d'aquest concepte, obtenir el diàmetre d'un vas paral·lel a l'eix de les Y serà tan senzill com recórrer el vas segons l'eix de les X (tot i que de fet també es podria fer recorrent l'eix de les Z) acumulant el nombre de píxels pels que passem. Cridar al mètode GetSpacing de la imatge, i finalment realitzar la multiplicació.

Una possible millora sobre el mètode seria realitzar aquesta operació sobre totes les files horitzontals de píxels paral·lels a l'eix X, i quedar-nos amb la que presenti un diàmetre major.

En cas que l'especialista detecti un aneurisma en la llesca actual, en podrà conèixer les seves dimensions fixant-se en el valor obtingut.

Una altre, seria realitzar aquest procés “sota demanda”. Així, si l'especialista considera la possibilitat de que en un determinat punt de la imatge segmentada hi pugui haver un aneurisma, podrà marcar-ho amb el ratolí. Automàticament, l'aplicació calcularà la distància de la part segmentada en la franja longitudinal paral·lela a l'eix X que passa pel punt que l'especialista ha indicat.

La segona modalitat representaria una millora sobre aquesta basada en el treball directe sobre el volum generat en tres dimensions usant les *tools* que ens proporciona starviewer. Ho considerarem treball futur, quedant-nos provisionalment amb la primera metodologia.

El sistema unitari va lligat a l’aplicació concreta sobre la que treballem. En el nostre cas, donarem la resposta en mil·límetres.

7.2. Diagrames del mòdul d'interacció

El diagrama de casos d'ús, en aquest cas sense gaires complicacions.

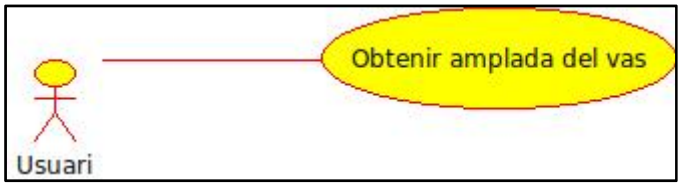


Figura 61: Diagrama de casos d'ús del mòdul d'interacció.

7.2.1. Obtenir amplada del vas

Fitxa de cas d'ús

Cas d'ús	**Obtenir amplada del vas**
Descripció	Permet obtenir l'amplada del vas en un punt.
Actors	Usuari.
Precondició	Hem segmentat la imatge, i l'usuari ha designat un punt concret sobre la imatge, i ha fet clic al botó que inicialitza el mètode.
Flux Principal	1.- Inicialitzem i = 1, x, y i z a les coordenades del punt entrat per l'usuari i comptador = 1. 2.- Mentre (imatge[x+i][y][z] o punt[x-i][y][z]) pertanyi a la zona i dreta i esquerra siguin iguals a cert: 1.1.- SI imatge[x+i][y][z] pertany i dreta = cert: 1.1.1.- Incrementar comptador. 1.2.- ALTRAMENT 1.2.1.- Dreta = fals. 1.3.- SI imatge[x-i][y][z] pertany i esquerra = cert: 1.3.1.- Incrementar comptador. 1.4.- ALTRAMENT

	1.4.1.- esquerra = fals. 3.- Obtenir *spacing* relatiu a l'eix X de la imatge. 4.- Multiplicar *spacing* per comptador. 5.- Mostrar resultat.
Postcondició	Visualitzarem el diàmetre del vas en el punt subministrat.

Diagrama de seqüència

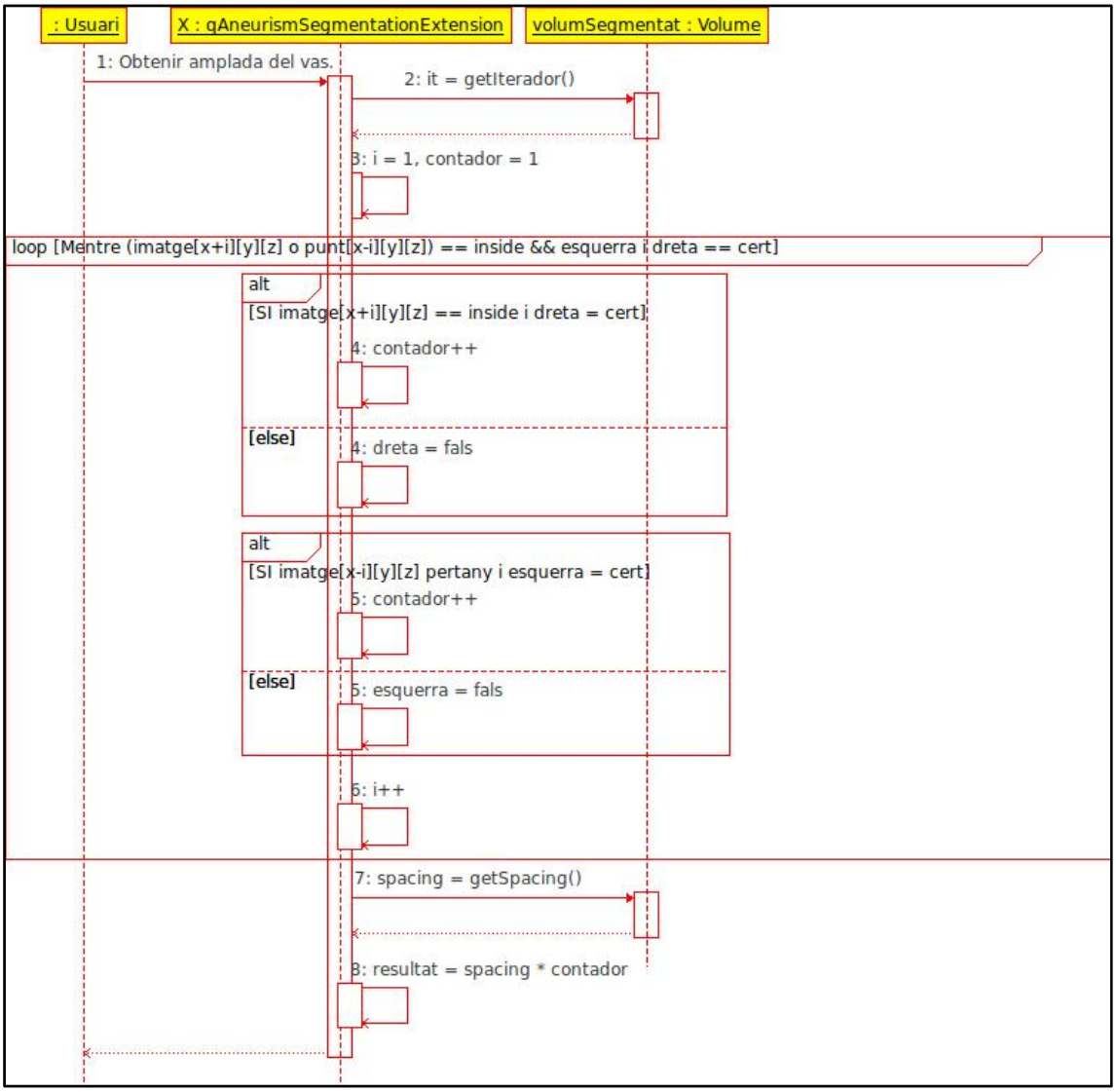


Figura 62: Diagrama de seqüència d'obtenir amplada del vas.

8. Resultats

Hem vist l'entorn mèdic en què es mou el treball. Hem parlat de les eines, les tècniques i la problemàtica. Hem traçat esquemes. Ho hem integrat tot, i finalment hem obtingut uns resultats.

En aquest apartat donarem un cop d'ull global a tot el que hem anat veient anteriorment. En el capítol d'implementació presentàvem una diagrama de casos d'ús primitiu. Passem a veure, doncs, com ha quedat finalment:

8.1. Diagrama de casos d'ús final

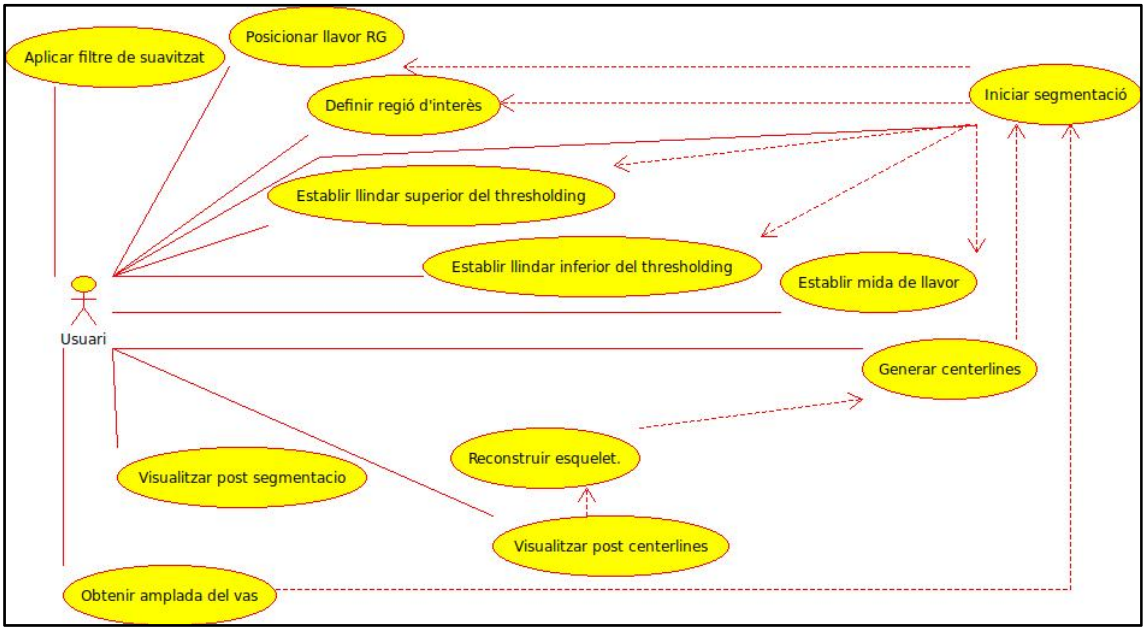


Figura 63: Diagrama de casos d'ús final.

A més, en cada mòdul hem utilitzat un conjunt de classes. Veurem les més representatives recollides en el següent diagrama de classes:

8.2. Diagrama de classes final

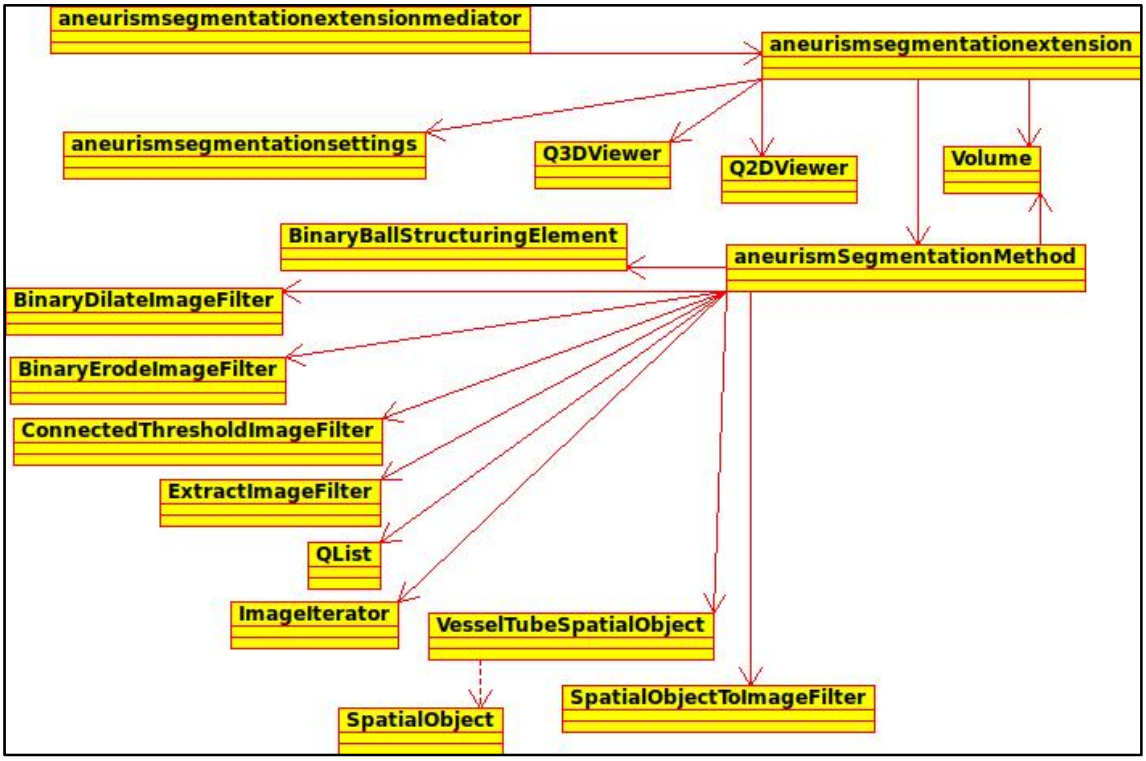


Figura 64: Diagrama de classes final.

I ja per acabar, unes captures de l'aplicació en que apreciarem les diferents funcionalitats que hem anat comentant.

Figura 65: L'aplicació, en funcionament. Les quatre finestres corresponen a, d'esquerra a dreta i de dalt a baix: volum original integrat amb la segmentació, màscara de segmentació, centerlines i renderització 3D.

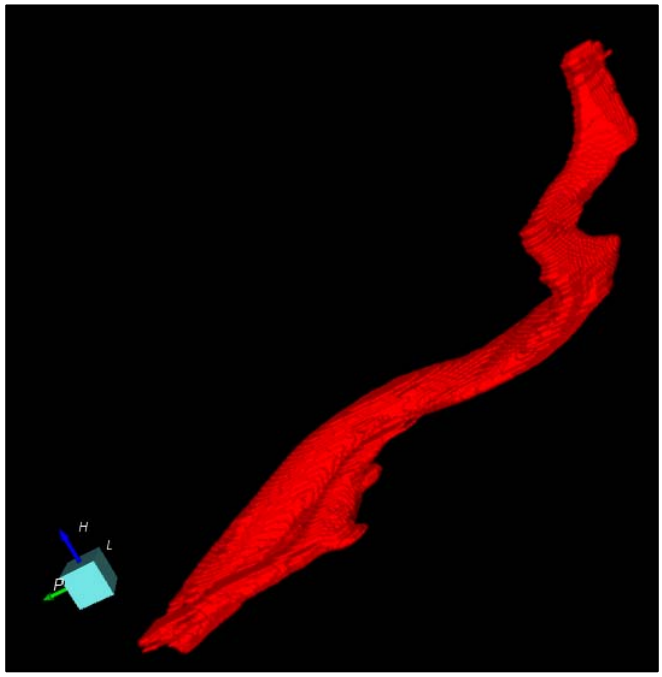


Figura 66: Renderitzant el vas, mitjançant la tècnica del ray casting.

9. Treball futur

En aquest apartat presentarem alguns dels aspectes més susceptibles a ser modificats per tal de millorar-ne el seu funcionament o la seva implementació.

- En primer lloc, cal comentar que totes les funcionalitats vistes al llarg d'aquest document han estat provades en un entorn tècnic mitjançant models concrets, obtenint resultats acceptables. Tot i això, el primer que caldrà fer serà traslladar aquestes proves a un entorn més pràctic des del punt de vista de la medicina i, sota la supervisió d'especialistes, sotmetre'l a tot un seguit de proves per a determinar-ne la validesa en un entorn real.
- A més, hi ha una sèrie de processos integrats en el desenvolupament concret d'aquest projecte que, com ja hem anat comentant, representen metodologies concretes susceptibles de ser millorades. Aquestes són:
    - En la reconstrucció, el procés de cerca de *centerlines* es realitza llesca a llesca. Això fa que haguem de fer ús d'un complicat algoritme de generació de l'esquelet del model. Podria buscar-se un altre enfoc ja sigui estudiant la possibilitat d'implantar l'ús de les VMTK en la resolució d'aquest problema concret i comparant-ne els resultats amb el que ja tenim, realitzant modificacions sobre l'estratègia d'obtenció de les *centerlines* o simplement millorant l'algoritme de generació de l'estructura.
    - Durant el procés de visualització es podria augmentar el nombre d'opcions de que disposa l'usuari ja sigui incrementant el nombre de tècniques de renderitzat disponibles, permetent-lo guardar el model generat per tal de poder accedir-hi posteriorment sense passar pels altres mòduls, etc.
    - En quant a l' interacció, es podria augmentar el grau d'interactivitat afegint més opcions de tractament sobre al volum 3D generat, buscant noves formes de tractar els aneurismes, etc.

10. Valoració personal

És curiós, però arribats a aquest punt em costa molt poc mirar enrere i recordar el dia en que per primera vegada vaig trepitjar l'escola politècnica, farà tres anys. Recordo aquella sensació d'estar a l' inici d'un llarg camí que no saps ben bé on et durà, però que afrontes amb molt d'optimisme tot i saber que, amb tota seguretat, presentarà batalla en cada un dels punts del seu recorregut.

Considero que encara em queda molt de camí per recórrer, que ni de bon tros he arribat al meu final particular, però també sóc conscient de que la conclusió d'aquest treball representa la fi d'una etapa i, personalment, la assoleixo amb molta satisfacció.

Crec que la confecció d'aquest treball m'ha permès aprofundir en la pràctica totalitat de conceptes vistos durant la carrera, especialment en els relacionats amb el tractament d'imatges i amb la planificació i disseny de sistemes, a més de descobrir-me'n de nous. Però sense entrar en detalls específics, m'ha permès adquirir una visió més real i més àmplia de la funció d'un informàtic en el món laboral. I és que un informàtic no ho pot saber tot, i molt menys ho pot pretendre.

Així doncs, he adquirit coneixements específics de programació, especialment en l'ús d'una col·lecció de llibreries específiques relacionades amb la feina que he estat realitzant, he format part d'un projecte integrat en un àmbit tan important com és el diagnòstic clínic i, sobretot gràcies a aquesta última part, he donat un pas important en la meva formació acadèmica, cosa que sens dubte només pot ser valorada de manera molt positiva.

Finalment, agrair a la meva tutora el treball realitzat, a la meva família i a tota la gent que m'ha donat suport, sobretot durant l'etapa final del projecte i a qualsevol persona que hagi arribat fins aquí, havent llegit tot el que precedeix a la següent i última línia d'aquest extens document.

Espero que t'hagi agradat.

11.Bibliografia

11.1. Llibres

- The VTK User's Guide, Updated for VTK Version 4.4. Authored and Published by Kitware, Inc., 2004.
- The ITK Software Guide, updated for version 1.4. Luis Ibáñez, Will Schroeder, Lydia Ng, Josh Cates and the Insight Software Consortium, published by Kitware, 2003.
- ENCICLOPEDIA MEDICA MODERNA, TOMO TERCERO. Dr Marcelo A. Hammerly, edició de PUBLICACIONES INTERAMERICANAS, 1979.

11.2. Articles

- A review of Vessel Extraction Techniques and Algorithms. Cemil Kirbas (Wallace-Kettering Neuroscience Institute) & Francis Quek (Virginia Tech University).
- Métodos de Segmentación de Imágenes Médicas. Ernesto Coto (Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Computación).

11.3. Web

- http://www.entornomedico.org/salud/saludyenfermedades/aneurisma.html
- http://www.texasheartinstitute.org/HIC/Topics_Esp/Cond/aneur_sp.cfm
- http://www.itk.org
- http://www.vtk.org
- http://osdir.com/ml/lib.itk.user/2004-12/msg00051.html
- http://vmtk.org
- http://uml.sourceforge.net/

12.Índex d'imatges

Aneurisma en una RM. 6
A. Reconstrucció de la tomografia computeritzada prèvia a la intervenció d'un pacient amb aneurisma d'aorta toràcica. B. El mateix cas, una vegada implantada la endoprótesis. 7
Procés de tractament de la imatge. 7
Diagrama de Gantt. 11
Aneurisma aòrtic. 13
La nova tecnologia informàtica permet als tècnics alinear y ajuntar les imatges una sobre l'altra per produir una imatge tridimensional que es pot girar y visualitzar des de qualsevol angle. 15
Tractament no quirúrgic. 16
Esquema representatiu del procés de diagnòstic. 16
Esquerra. Resultat d'una RM. Dreta. Resultat d'una CTA. 17
Esquema de "llesques" obtingut de les angiografies. 18
Exemple d'un visor per accedir als PACs. 19
Centerlines. 21
El Region Growing. 22
Es vol obtenir només els objectes de major tamany. Per això erosionem usant un EE de mida una mica menor a la de l'objecte que volem extreure. Obtenim els objectes en qüestió de menor tamany. Per a que recuperin el tamany original s'aplica una dilatació amb el mateix EE. 23
Una xarxa neuronal simple. 25
Logo Starviewer. 25
El llenguatge C++. 26
Qt. 27
Qt Creator. 27
ITK (Insight Segmentation and Registration Toolkit). 28
VTK (Visualization Toolkit). 29
UML. 30
Umbrello. 30
Diagrama de casos d'ús, primera aproximació. 33
Diagrama de classes de ConnectedThresholdImageFilter. 35
Diagrama de classes de BinaryBallStructuringElement. 36
Diagrama de classes de BinaryDilateImageFilter. 36
Els píxels que canvien de negre a blanc per efecte de la dilatació apareixen lleugerament pintats. 37
L'efecte de la dilatació. 37
Diagrama de classes de BinaryErodeImageFilter. 38
Els píxels que canvien de blanc a negre per efecte de l'erosió apareixen en vermell. 39
És la reflexió inversa a la dilatació? 39
Abans i després d'aplicar el filtre. 40
Diagrama de casos d'ús del mòdul de segmentació. 41
Diagrama de seqüència d'aplicar filtre. 43
Diagrama de seqüència de posicionar llavor. 44
Diagrama de seqüència d' actualitzar regió d'interès. 45
Diagrama de seqüència d'actualitzar llindar superior del thresholding. 47
Diagrama de seqüència d'actualitzar llindar inferior del thresholding. 49
Diagrama de seqüència d'iniciar segmentació. 51
Una centerline en un model 3D. 52

Diagrama de classes de DanielssonDistanceMapImageFilter. 53
A l'esquerra, l'imatge inicial. A la dreta, el resultat d'aplicar l'algoritme de Danielsson per a generar el distance map. 53
Diagrama de classes de SignedDanielssonDistanceMapImageFilter. 54
El filtre SignedDanielssonDistanceMapImageFilter aplicat sobre una imatge binària d'un cercle. 55
Diagrama de classes de BinaryThinningImageFilter. 56
Starviewer, en la pantalla de baix a l'esquerra podem apreciar la centerline generada a partir de la superfície segmentada, usant el filtre que acabem de veure. 57
Diagrama de classes de VesselTubeSpatialObject. 58
Diagrama de casos d'ús del mòdul de reconstrucció. 60
Diagrama de seqüència de generar centerlines. 61
Diagrama de seqüència de reconstruir esquelet. 63
Diagrama de classes de SpatialObjectToImageFilter. 64
Els quatre passos fonamentals de la tècnica del ray casting. 1.Llançament de raigs. 2.Mostreig. 3.Sombrejat. 4.Composició de l'escena. 65
Imatge generada utilitzant l'algoritme de Ray Casting. 66
Renderitzat del vas aplicant la tècnica de contouring. 66
Renderitzat del vas aplicant la tècnica de les iso superfícies. 67
Diagrama de casos d'ús del mòdul de visualització. 68
Diagrama de seqüència de visualitzar post segmentació. 69
Diagrama de seqüència de visualitzar post centerlines. 71
Representació de les imatges en les ITK. 72
Diagrama de casos d'ús del mòdul d'interacció. 74
Diagrama de seqüència d'obtenir amplada del vas. 75
Diagrama de casos d'ús final. 76
Diagrama de classes final. 77
L'aplicació, en funcionament. Les quatre finestres corresponen a, d'esquerra a dreta i de dalt a baix: volum original integrat amb la segmentació, màscara de segmentació, centerlines i renderització 3D. 77
Renderitzant el vas, mitjançant la tècnica del ray casting. 78