

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Biomèdica

**Títol:** Segmentació automàtica d'imatges radiològiques per la posterior fabricació de guies quirúrgiques per la planificació de cirurgies de la zona cap-coll

**Document:** Resum

**Alumne:** Camila Silva Delgado

**Tutor:** Maria Luisa Garcia-Romeu de Luna

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Enginyeria dels processos de fabricació

**Co-tutor:** Anton Bardera Reig

**Departament:** Informàtica, Matemàtica Aplicada i Estadística

**Àrea:** Llenguatges i sistemes informàtics

**Convocatòria (mes/any):** Setembre 2023

El coll és una regió del cos amb un gran interès i propensa a patologia, però, la seva anatomia és complexa i complicada de segmentar. Les proves radiològiques assisteixen al diagnòstic, monitorització, determinació del tractament i planificació de cirurgies en la zona. La medicina està experimentant una gran transformació gràcies a la combinació amb l'enginyeria. La creació de models 3D personalitzats pot millorar significativament la planificació quirúrgica oferint una millor comprensió de les estructures i com estan connectades. L'obtenció d'aquests models comença amb la detecció i segmentació de les estructures a partir d'imatges radiològiques. La regió cap-coll, majorment formada per teixit tou, planteja un desafiament complex de segmentació i especialment d'automatització.

Aquest treball de fi de grau forma part del projecte CUSTOMED, una iniciativa del GREP. L'objectiu principal és identificar les eines i mètodes més eficients per a desenvolupar una metodologia de segmentació automàtica. Es desenvolupa una proposta de protocol estàndard per a l'obtenció de guies quirúrgiques. La principal motivació del treball és millorar la planificació i qualitat de les cirurgies mitjançant una eina que ofereixi una representació espacial i personalitzada de l'anatomia de la zona als metges, també amb l'objectiu de millorar l'experiència dels pacients.

Es descriuen conceptes previs en anatomia i patologia del coll fent èmfasi en la tiroides, estructura d'interès en els dos casos clínics treballats al projecte, per a una bona comprensió del treball. Es descriuen tècniques i els algorismes de segmentació d'imatge amb IA, K-means i *Active Contours*. També es descriuen conceptes d'imatge mèdica, en concret sobre el TAC, el tipus de prova 3D emprat per a la segmentació. Finalment, d'impressió 3D i formats d'imatge mèdica i formats de volum d'interès.

El primer pas per al desenvolupament del treball va ser situar-se en l'estat de l'art i en les tècniques més innovadores en segmentació automàtica de la regió del cap-coll i en planificació de cirurgies a partir de models 3D i guies quirúrgiques. L'aproximació més comuna en els darrers estudis en segmentació automàtica de la zona del coll és aplicar algorismes basats en Deep Learning i arquitectures U-Net. Aquestes metodologies requereixen un gran volum d'imatges segmentades per a entrenar els models i obtenir bons resultats. Una de les eines més innovadores de segmentació, basada en aquesta tècnica, és el 'TotalSegmentator', capaç de segmentar un gran nombre d'estructures anatòmiques, però no estructures de teixit tou del coll.

Tradicionalment, les cirurgies s'han planificat a partir del coneixement en anatomia i proves radiològiques. Els models 3D personalitzats del pacient són un pas més. A partir de les estructures anatòmiques segmentades es poden aconseguir models digitals 3D i fer-ne una impressió per

tenir-los físicament. L'hospital Sant Joan de Déu a Barcelona compta amb una unitat de pionera a Espanya en l'ús de tecnologies 3D per a la planificació i simulació de cirurgies complexes, on des del 2013 es realitzen cirurgies amb aquest tipus de planificació.

Els materials per al desenvolupament del projecte han estat, les imatges de dos casos clínics (TACS) amb el seu respectiu GT i informació sobre els casos proporcionada pel metge, el visualitzador DICOM (3D Slicer), software de processament d'imatge (MATLAB), programari per visualitzar i tractar models 3D (3D Slicer i SolidWorks), programari (BCN 3D Stratos) i impressora 3D (Sigma R19 BCN3D Technologies), materials per la impressió amb fabricació additiva (PLA i PVA) i escàner i software d'escaneig (Einscan Pro 2x Plus de Shining 3D).

La metodologia es pot dividir en dues parts, l'obtenció de la segmentació i el processament dels models i la impressió 3D.

A partir de recerca de metodologies de segmentació que no necessitin un gran volum de dades i després d'analitzar la imatge i fer diverses proves, es desenvolupa una metodologia de segmentació automàtica i una semiautomàtica. Aquestes dues metodologies s'han dissenyat a partir d'iteracions de proves, valorades qualitativament i quantitativament amb la mètrica d'avaluació del coeficient DICE. Es desenvolupen amb l'entorn MATLAB on el primer pas en ambdues és obtenir les imatges i informació d'interès en aquest entorn.

La metodologia de segmentació automàtica es basa en l'aplicació de llindars per a segmentar les estructures, posteriorment s'apliquen post-processaments a aquesta segmentació basats en prioritats i coneixements clínics per a obtenir una segmentació final. S'aconsegueixen les següents segmentacions: fons, estructura òssia i vascular, la tiroides, la resta del teixit tou i múscul i greix.

La metodologia de segmentació semiautomàtica es basa en la segmentació de la tiroides en una llesca a partir d'un dibuix i altres paràmetres introduïts per teclat. A partir d'aquesta segmentació en 2D i dels paràmetres se segmenta tota la tiroides en la resta del TAC fent servir l'algorisme *Active Contours*.

A partir de les segmentacions obtingudes, fent servir MATLAB es desen en volums 3D en format STL. Aquests volums es visualitzen, s'uneixen, es processen per a ser suavitzats i es comparen visualment amb el GT en 3D Slicer. Posteriorment, es preparen els arxius d'impressió determinant materials, paràmetres i suports necessaris i es procedeix a imprimir el prototip mitjançant

fabricació additiva. S'imprimeixen tres prototips, tiroides del GT, tiroides automàtica i tiroides semiautomàtica. Aquests tres prototips s'escanegen, es processen i se n'obté una versió digitalitzada en format STL.

Es realitza una comparativa 3D amb Solidworks entre els models suavitzats de la tiroides en STL i el GT de la tiroides en STL. També entre els *scans* dels prototips de les segmentacions impresos amb el GT imprès i escanejat. D'un assemblatge entre els dos cossos fent-los coincidir, aquesta comparativa permet avaluar en mil·límetres en una escala de colors les diferències entre el model de la segmentació i el GT. Aquesta comparativa ha servit per quantificar en una unitat l'avaluació feta amb el coeficient DICE (%) i ubicar on es troben els errors i trobar el perquè.

Aquesta metodologia de segmentació es dissenya a partir d'un primer cas, anomenat cas del goll compressiu, el segon cas, goll cervical gegant endotoràcic, serveix per a fer-ne una validació i avaluar els resultats de la metodologia sense fer-hi canvis significatius en la metodologia dissenyada.

Es desenvolupa un protocol per obtenir aquestes guies en un context més realista. Aquest protocol està destinat a ajudar el personal sanitari, per això s'ha buscat que sigui viable i senzill de seguir. Al treball es desenvolupa la guia per al personal sanitari, explicativa i visual. Així, a banda de formar part integral de la metodologia, aquest protocol representa un resultat molt important d'aquest projecte.

Es descriuen els resultats obtinguts, primerament l'evolució dels resultats qualitius del post-processament de la tiroides en la segmentació automàtica i l'evolució del coeficient DICE de la tiroides amb relació a aquest post-processament. També es presenta l'evolució del coeficient DICE en la segmentació semiautomàtica segons com es varien els diferents paràmetres de l'algorisme *Active Contours* fins a aconseguir els que aconseguissin millors resultats.

Es presenten els resultats obtinguts amb la solució de segmentació, processament i impressió triada. Tan resultats quantitius del coeficient DICE i la comparació en SolidWorks en mil·límetres com fotografies dels models 3D i prototips impresos, i la seva comparativa respecte el GT. També es presenten els resultats aconseguits a la validació de la metodologia.

Es destaca l'obtenció de dues metodologies de segmentació amb capacitat de segmentar la tiroides amb coeficients DICE superiors a 0.78, fins a arribar a 0.92. En la comparació en mil·límetres s'observa un error màxim d'una diferència de  $\pm 17,4$  mm. Aquests mil·límetres

màxims d'error són els aconseguits en la tiroides a partir de segmentació automàtica, píxels de la tràquea i del voltant de la tiroides que no es van poder eliminar amb post-processament.

Tenint en compte un rang de tolerància de  $\pm 5$ mm de diferència entre el GT i la peça, la major part del cos es troba comprès en aquest llinyar en totes les segmentacions, mostrant similitud amb el GT. L'avaluació qualitativa en 3D amb comparació al GT, tant digital com física, ha estat un altre indicador de l'èxit de la segmentació.

Els resultats de la segmentació de l'estructura òssia i vascular presenten resultats de coeficient DICE al voltant de 0.85. El prototip d'aquesta segmentació no s'ha imprès ni s'ha avaluat comparativa en mm. La funció de la segmentació d'aquesta estructura dins el nostre projecte és servir de referència espacial i de mida per la tiroides. En el cas que es presentés un cas on aquesta estructura fos l'interès, se'n podria fer les corresponents impressions i avaluacions donat els bons resultats s'intueixen valorant el coeficient DICE proper a 1. Cal fer una puntualització en la impossibilitat de segmentar per separat l'estructura òssia de la vascular donat el contrast intravenós administrat en la prova. Respecte als altres teixits segmentats: resta del teixit tou i múscul i greix, s'ha avaluat els resultats qualitativament i no són segmentacions que donin informació valuosa.

Els bons resultats de la metodologia de segmentació en la validació d'un segon cas demostren que la metodologia té capacitat de generalitzar-se. El segon cas presenta una tiroides molt gran i amb una forma diferent al cas escollit i tot i això, usant la mateixa metodologia s'ha obtingut una molt bona segmentació.

S'ha notat una millor capacitat de segmentació del mètode automàtic respecte el semiautomàtic. Tot i que es podria esperar a la inversa, cal destacar que en un treball futur la segmentació semiautomàtica podria extrapolar-se a altres estructures, utilitza contorns i majoritàriament és independent a valors d'intensitat. En canvi, la segmentació automàtica depèn de llinyars obtinguts en l'anàlisi del TAC del cas 1 i si canviessin molt les característiques del TAC, sembla tenir menys possibilitats de funcionar. Actualment, només s'usa el contorn definit per l'operador d'una llesca, en un futur se'n podrien usar múltiples, que farien millorar els resultats.

Es destaca l'obtenció d'una metodologia de segmentació automàtica des de zero, capaç de segmentar l'estructura d'interès, la tiroides i altres teixits.

La limitació principal del projecte podria ser la manca de casos amb el seu GT. Inicialment, això va suposar una limitació en la metodologia escollida, descartant les metodologies basades en *Deep Learning*. També seria interessant fer-ne proves en TACs de persones sanes o sense cap patologia de la tiroides. Una altra limitació ha estat el temps d'impressió del prototip de l'estructura òssia i vascular, degut a la seva geometria i els paràmetres d'impressió triats per obtenir acabats de qualitat. Aquest temps va impedir imprimir-la juntament amb la tiroides, un resultat potser més aproximat al concepte de guia quirúrgica. L'ideal seria poder imprimir l'estructura òssia i vascular d'un color i la tiroides d'un altre. Cal tenir en compte que les impressores només poden usar dos materials i un d'ells ha de ser el material de suport, això requeriria una planificació d'impressió més extensa.

S'obtenen bons resultats qualitius i quantificats, també en validar-la amb un segon cas, mostrant capacitat en la metodologia de ser generalitzada. El plantejament inicial era aconseguir automatitzar la segmentació de les estructures anatòmiques més importants del coll. Aquest objectiu es va haver de simplificar perquè la disposició de recursos no va permetre enfocar una metodologia que ho aconseguís.

Pensant en les possibilitats i futures direccions d'aquest projecte, es podria considerar el present treball com a una primera aproximació a la segmentació automàtica d'estructures anatòmiques de la regió del coll. De la part de segmentació es podria plantejar com a treball futur l'obtenció de més casos amb el seu GT per continuar-la validant i ajustant per millorar-la. La metodologia de segmentació semiautomàtica es podria extrapolar per a aconseguir segmentacions d'altres estructures fent proves i ajustant paràmetres. Estaria bé elaborar una interfície per l'usuari més còmode i pràctica per obtenir els models, amb totes les parts en un sol recurs. També es podrien explorar les possibilitats dels models 3D digitals per a la simulació de cirurgies i comprensió de l'anatomia, desenvolupar una interfície que permeti encaixar i desencaixar les diferents estructures en un model i dissenyar les eines per simular el procediment quirúrgic. La possibilitat d'imprimir amb materials més tous que simulessin millor la textura i consistència del teixit humà podria permetre la pràctica de cirurgies prèvies a la cirurgia real i per a formació, estudiant així la millor ruta i abordament de la cirurgia.