

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Biomèdica

Títol: Segmentació de lesions cerebrals procedents d'imatges mèdiques, per la seva posterior digitalització i impressió 3D.

Document: Resum

Alumne: Xavier Beltran Urbano

Tutor: Xavier Lladó / Robert Martí

Departament: Departament d'Arquitectura i Tecnologia de computadors (ATC)

Àrea: Visió per computadors

Convocatòria (mes/any): Juny/2022

ÍNDEX

1. Introducció.....	1
2. Hipòtesi i objectius	1
2.1. Pregunta de recerca.....	1
2.2. Hipòtesi.....	1
2.3. Propòsit i objectius del projecte	1
3. Materials i mètodes	2
3.1. Dades utilitzades	2
3.2. Desenvolupament del projecte	2
3.2.1. Preparació prèvia	2
3.2.2. Segmentació mitjançant algoritmes no supervisats (K-Means).....	2
3.2.3. Segmentació mitjançant algoritmes supervisats basats en Deep Learning.....	2
3.2.4. Segmentació del Crani	2
3.2.5. Reconstrucció 3D	3
3.2.6. Impressió 3D.....	3
4. Resultats	3
4.1. Avaluació de la segmentació.....	3
4.1.1. Avaluació de la segmentació del tumor sencer	3
4.1.2. Avaluació de la segmentació del tumor en subregions	4
4.2. Impressió en 3D	5
5. Conclusions	5

I. Introducció

Les malalties neurològiques afecten a més de 7 milions de persones en el nostre país. A més a més, són les causants d'un 19% de les morts que es produeixen cada any a Espanya. Malauradament, donada la gravetat de la majoria d'aquestes malalties, moltes d'elles s'han de sotmetre a intervencions quirúrgiques. Per tant, és de vital importància realitzar un bon estudi personalitzat de cada pacient per tal d'executar la intervenció de la manera més exitosa i eficaç possible.

En el present treball ens centrarem a desenvolupar mètodes d'ajuda per realitzar un preoperatori d'una manera més personalitzada i completa. Concretament, els mètodes que desenvoluparem consistiran en mètodes de segmentació del tumor utilitzant intel·ligència artificial. Un cop segmentat el tumor, aquest es digitalitzarà i s'imprimirà en 3D juntament amb el crani del pacient en qüestió.

Gràcies al model 3D imprès, el qual tindrà una mida real, aconseguirem una millora en la preparació del preoperatori, ja que aquest proporcionarà al personal sanitari una molt bona visió espacial del tumor dintre del crani del pacient. Per tant, gràcies a aquesta informació millorada, els metges i cirurgians seran capaços de planificar millor la intervenció, ja que per exemple, podran comprovar diverses rutes d'extracció del tumor i, escollir la que millor s'adapta per la cirurgia que han de realitzar.

2. Hipòtesi i objectius

2.1. Pregunta de recerca

És possible combinar l'enginyeria informàtica i l'enginyeria industrial, per tal de desenvolupar mètodes per realitzar una medicina més completa i personalitzada?

2.2. Hipòtesi

Mitjançant la combinació d'algoritmes d'intel·ligència artificial i, impressions 3D, és possible desenvolupar nous mètodes, específics per intervencions quirúrgiques d'extracció de tumors cerebrals, amb els quals obtenir una informació preoperatoria molt més personalitzada i específica per cada pacient.

2.3. Propòsit i objectius del projecte

El propòsit principal d'aquest projecte, tal com s'ha comentat anteriorment, és desenvolupar mètodes per ajudar al personal sanitari a realitzar un preoperatori més complet i personalitzat.

L'objectiu principal constarà de dues parts:

- **La primera part és la relacionada amb la creació del model del pacient.** Aquesta primera part consistirà en el desenvolupament de diferents mètodes d'intel·ligència artificial per realitzar la segmentació del tumor. Finalment, un cop segmentat aquest, obtindrem diferents segmentacions (crani, substància grisa, substància blanca, etc.) mitjançant la imatge del pacient, per tal de crear el model final.
- **La segona part és la relacionada amb la impressió 3D.** En aquesta segona part, primerament realitzarem la reconstrucció 3D de les segmentacions obtingudes anteriorment. Aleshores, mitjançant el programari 'Ultimaker Cura', generarem l'arxiu final i el guardarem en una memòria USB. Per acabar, posarem aquesta memòria USB a la impressora 3D i, començarem la impressió.

3. Materials i mètodes

A continuació, es descriuran de manera detallada, els materials i els mètodes utilitzats en aquest projecte. Primerament, descriurem les dades utilitzades:

3.1. Dades utilitzades

En aquest projecte, s'ha utilitzat la base de dades (BD) provinent del repte internacional 'The **Brain Tumor Image Segmentation Challenge 2018**', també conegut com a '**BraTS 2018**'. Aquesta consta de 285 casos en format NIfTI (.nii.gz), on per cada cas, donat que aquests són multimodals, podem trobar les següents modalitats: T1, T2, T1 amb contrast i FLAIR. A més a més, també hi ha una cinquena imatge la qual conté el Ground Truth (GT) de la segmentació del tumor, el qual està format per 3 classes diferents: el tumor realçat (TR) en GD (etiqueta 4), l'edema peritumoral (EP) (etiqueta 2), i el nucli tumoral (NT) necròtic sense realçat (etiqueta 1).

3.2. Desenvolupament del projecte

3.2.1. Preparació prèvia

Donada la poca experiència en el camp de la segmentació de teixits utilitzant Deep Learning (DL), vam creure convenient que, abans de començar el projecte, era necessària una recerca prèvia del que s'estava desenvolupant en el repte BraTS els darrers anys. Per tant, el primer pas que va consistir en això, en realitzar una recerca exhaustiva dels mètodes utilitzats actualment en el repte BraTS.

3.2.2. Segmentació mitjançant algoritmes no supervisats (K-Means)

Un cop ens vam veure amb els coneixements necessaris per començar el projecte, vam començar amb la part de desenvolupament de programari encarregat de la segmentació. La primera part d'aquest desenvolupament va consistir a implementar un programa de segmentació de tumors cerebrals mitjançant algoritmes no supervisats. Concretament, vam implementar un programa mitjançant l'entorn de programació anomenat com a MATLAB, en el qual vam utilitzar l'algoritme K-Means per tal d'acomplir aquesta tasca.

3.2.3. Segmentació mitjançant algoritmes supervisats basats en Deep Learning

A continuació vam realitzar la segmentació del tumor sencer i la segmentació d'aquest en subregions, mitjançant algoritmes de DL, on l'arquitectura utilitzada va ser la de les U-NET.

Primerament, vam desenvolupar el programa de la segmentació del tumor sencer, en el qual, un cop vam obtenir els primers resultats, vam aplicar una sèrie de millores a la versió inicial d'aquest. Concretament, aquestes millores van ser la de Background Crop (retallem el fons de les imatges) i la de Data Augmentation (vam triplicar la BD mitjançant la rotació i la inversió de les imatges originals). Un cop realitzades les diferents millores, vam utilitzar els models obtinguts per tal de predir les imatges del grup de testeig (20% de les imatges de la BD) i, d'aquesta manera, quantificar els resultats d'aquests. Un cop quantificats els resultats, vam repetir aquest procediment (amb les modificacions del codi pertinents) pel programa de la segmentació del tumor en subregions.

3.2.4. Segmentació del Crani

Un cop realitzades les segmentacions anteriors, va arribar l'hora de començar les reconstruccions 3D, però abans d'això, vam haver de crear les màscares (segmentació del crani, substància grisa, etc.) de les imatges corresponents. Per realitzar aquesta tasca vam utilitzar el programari anomenat SPM12.

3.2.5. Reconstrucció 3D

Un cop creades les màscares que acabem de comentar, ja vam ser capaços de realitzar la reconstrucció 3D, on l'entorn de programació que vam utilitzar va ser l'anomenat com a MATLAB. Per desenvolupar aquesta tasca, vam utilitzar un codi obert, l'autor del qual és l'Amir Safari, anomenat 'Make STL of 3D array (Optimal for 3D printing)'.

3.2.6. Impressió 3D

Finalment, un cop realitzada la reconstrucció 3D, vam començar amb l'últim apartat del projecte, el d'impressió 3D. Aquest apartat bàsicament va consistir en col·locar suports per tal de reforçar l'estructura del model i, en configurar els paràmetres predeterminats de la impressió. Un cop fet això, vam exportar el model en format 'gcode' i el vam guardar en una memòria USB. Finalment, vam posar aquesta memòria USB a la impressora i vam començar amb la impressió del model.

4. Resultats

A continuació, en aquest apartat es mostraran els resultats dels diferents procediments realitzats en el projecte. Donat que la temàtica d'aquest està clarament diferenciada en dos grans blocs, s'han dividit els resultats en dos apartats: 1) avaluació de la segmentació i 2) impressió 3D.

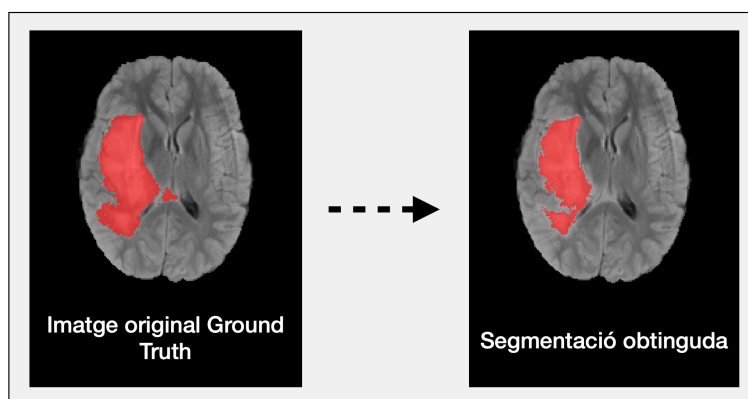
4.1. Avaluació de la segmentació

Aquest apartat l'hem dividit en dues seccions: avaluació de la segmentació del tumor sencer i avaluació de la segmentació en subregions. Per tal d'acomplir aquesta tasca, s'han utilitzat les mètriques del Dice Coeficient (DSC), la Distància de Hausdorff (HD), l'especificitat i la sensibilitat. Cal destacar que, tal com s'ha comentat anteriorment, els resultats que mostrarem provenen de quantificar les prediccions de les imatges del grup de testeig (quantifiquem el resultat de cada llesca i fem la mitjana per cada imatge, és a dir, per cada 155 llesques), el qual està compost pel 20% de la BD original (hem dividit la BD en 80% train + validation i 20% test). Un cop dit això, primerament, mostrarem els resultats obtinguts amb la segmentació del tumor sencer:

4.1.1. Avaluació de la segmentació del tumor sencer

Mantinguen l'ordre de l'apartat anterior, el primer algoritme que mostrarem serà l'algoritme K-means.

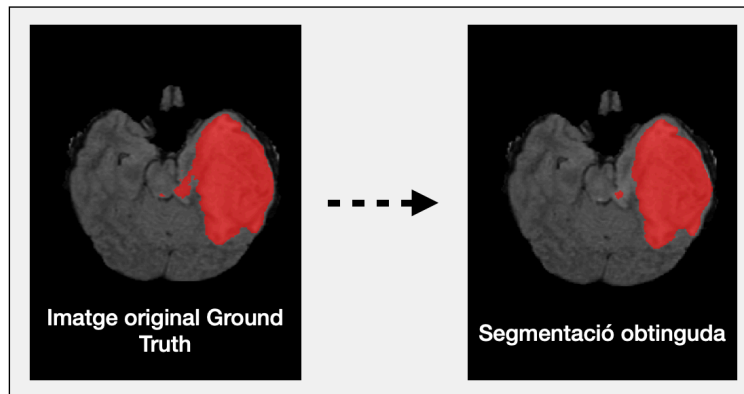
-K-means: els resultats obtinguts amb aquest algoritme són $DSC=0.4963$, $HD=63.915$, $Especificitat=0.9762$ i $Sensibilitat=0.8015$. A la *il·lustració 1* podem observar un exemple de la segmentació d'una llesca, mitjançant aquest algoritme.



Il·lustració 1. Exemple dels resultats obtinguts, mitjançant K-means, de la llesca 80 de la imatge 1 del conjunt de testeig. El DSC obtingut en la segmentació d'aquesta llesca és de 0.8466.

-Deep Learning: els resultats obtinguts de les diferents versions del programa, utilitzant Deep Learning, són els següents:

- **Versió inicial:** els millors resultats obtinguts, mitjançant la versió inicial, són DSC= 0.4963, HD=63.915, Especificitat=0.9762 i Sensibilitat= 0.8015.
- **Versió millorada 1 (Background Crop):** els millors resultats obtinguts, mitjançant la versió millorada 1, són DSC= 0.8346, HD=0.1319, Especificitat=0.9992 i Sensibilitat= 0.8091.
- **Versió millorada 2 (Data Augmentation):** els millors resultats obtinguts, mitjançant la versió millorada 2, són DSC= 0.8346, HD=0.1319, Especificitat=0.9992 i Sensibilitat= 0.8091. A la *il·lustració 2* podem observar un exemple de la segmentació d'una llesca, mitjançant aquesta versió.

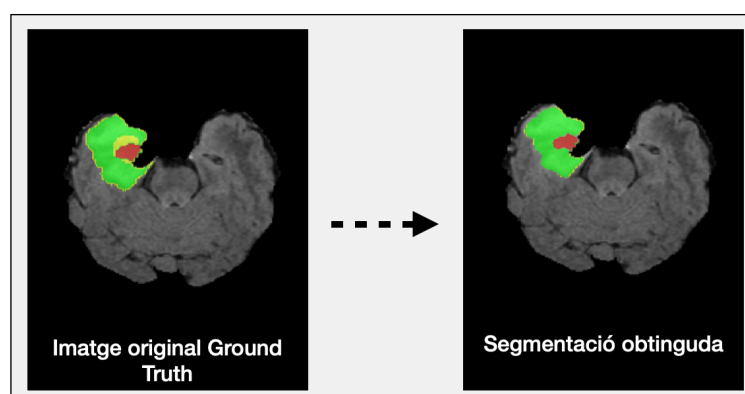


Il·lustració 2. Exemple dels resultats obtinguts, mitjançant el model 5, de la llesca 48 de la imatge 9 del conjunt de testeig. El DSC obtingut en la segmentació d'aquesta llesca és de 0.9595.

4.1.2. Avaluació de la segmentació del tumor en subregions

A continuació, un cop vam acabar amb la part de la segmentació del tumor sencer, vam començar amb la segmentació d'aquest en subregions. En aquest cas, els resultats obtinguts provenen de calcular, de la mateixa manera que en cas de la segmentació del tumor sencer, el DSC, la HD, l'especificitat i la sensibilitat, de forma individual per cada subregió. Un cop dit això, els resultats obtinguts, en aplicar els diferents models a les dades de testeig, van ser els següents:

- **Versió inicial:** els millors resultats obtinguts, mitjançant la versió inicial, són DSC= 0.7429, 0.7019, 0.7798; HD=1.5207, 1.6736, 0.3059; Especificitat=0.9998, 0.9935, 0.9997 i Sensibilitat= 0.3233, 0.6760, 0.7112 de les subregions NT, EP i TR respectivament.
- **Versió millorada 1 (Background Crop):** els millors resultats obtinguts, mitjançant la versió millorada 1, són DSC= 0.6467, 0.7145, 0.8133; HD=2.1254, 1.7919, 0.3508; Especificitat=0.9989, 0.9915, 0.9996 i Sensibilitat= 0.3378, 0.6266, 0.6408 de les subregions NT, EP i TR respectivament.
- **Versió millorada 2 (Data Augmentation):** els millors resultats obtinguts, mitjançant la versió millorada 1, són DSC= 0.6557, 0.7196, 0.8212; HD=2.0893, 1.6987, 0.3418; Especificitat=0.9973, 0.9949, 0.9995 i Sensibilitat= 0.3951, 0.5977, 0.6554 de les subregions NT, EP i TR respectivament. A la *il·lustració 3* podem observar un exemple de la segmentació d'una llesca, mitjançant aquesta versió.



Il·lustració 3. Exemple dels resultats obtinguts, mitjançant el mètode ensembler 2, de la llesca 46 de la imatge 6 del conjunt de testeig. El DSC obtinguts en la segmentació d'aquesta llesca són 0.2584, 0.8829, 0.9166 del NT (groc), EP (verd) i TR (vermell) respectivament.

4.2. Impressió en 3D

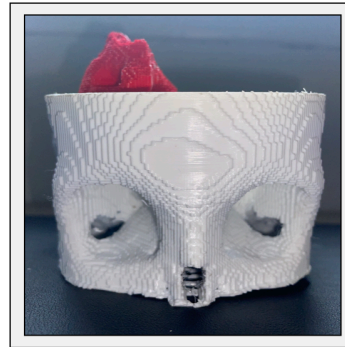
Per acabar, vam executar les impressions dels models finals, els quals van consistir en: un model obtingut mitjançant un tall sagital, i un altre obtingut mitjançant un tall transversal. A les il·lustracions 4,5,6 i 7 podem observar diferents exemples dels models impresos en 3D.



Il·lustració 58. Visió frontal del model final (tall sagital).



Il·lustració 5. Visió frontal del model del tumor + el model del crani (tall sagital).



Il·lustració 6. Visió frontal del model del tumor + el model del crani (tall transversal).



Il·lustració 7. Visió frontal del model final (tall transversal).

5. Conclusions

Com a resultat del present treball, s'han desenvolupat mètodes de segmentació de tumors cerebrals mitjançant algorismes no supervisats, com el K-means, i algorismes supervisats basats en DL. Pel desenvolupament dels diferents mètodes de segmentació tumoral que acabem d'esmentar, s'ha utilitzat la BD procedent del repte internacional BraTS'18, la qual conté 285 casos d'imatges multimodals (T1, T2, T1 amb contrast i FLAIR) amb 155 llesques cada una. Finalment, un cop segmentat el tumor, s'ha realitzat la impressió de dos models 3D (a mida real) del crani i del tumor del pacient.

Inicialment, el primer model que es va desenvolupar va ser el model en el qual vam utilitzar l'algorisme K-means. Tal com era d'esperar, donada la naturalesa d'aquest algorisme, els valors no van ser força bons, ja que en aplicar l'algorisme en qüestió a les imatges del testeig, vam obtenir una mitjana de valors de DSC del 0.49. Seguidament, els 3 següents models que es van desenvolupar (la versió inicial i les seves dues variacions: Background Crop i Data Augmentation) es van basar en la utilització del DL per tal de realitzar la mateixa tasca que l'algorisme K-means. A diferència del que s'esperava, en aplicar les diferents variacions del programa, els resultats no van millorar respecte als obtinguts en la versió inicial. Tot i això, mitjançant els models desenvolupats, s'han obtingut valors de DSC de gairebé 0.84, per tant, podem afirmar que els resultats obtinguts de la segmentació del tumor sencer, són molt bons.

A continuació, es van desenvolupar els darrers 3 models (la versió inicial i les seves dues variacions: Background Crop i Data Augmentation), els quals es van basar en la utilització de DL per tal de realitzar la segmentació del tumor en subregions. En aquest cas, a diferència que en el cas de la segmentació del tumor sencer, tal com s'esperava, els resultats van augmentar lleugerament en aplicar les diferents variacions del programa, aconseguint valors de DSC del 0.6557, 0.7196 i 0.8212 de NT, ED i TR respectivament. Per tant, degut als resultats que acabem d'esmentar, també podem afirmar que els resultats obtinguts en la segmentació del tumor en subregions, són bastant bons.

Finalment, un cop vam obtenir les segmentacions del tumor, vam imprimir dos models en 3D (un amb un tall sagital i un altre amb un tall transversal), amb els quals vam aconseguir una precisió molt acurada del crani i del tumor del pacient en qüestió.

Per tant, donat que s'han obtingut molt bons resultats tant amb la part de segmentació del tumor, com amb la part d'impressió 3D, i, a més a més, s'ha complert amb el propòsit principal del projecte, el qual era el de desenvolupar mètodes per realitzar un preoperatori més complet i personalitzat, podem concloure que el present treball ha sigut exitós i molt satisfactori.