



SEGONA PRÀCTICA

Processament d'imatges mèdiques

Coregistre d'una imatge
anonimitzada amb un atlas
anatòmic

Francesc Xavier Gayà Morey

Índex

1.	Introducció	2
2.	Interfície gràfica d'usuari.....	2
2.1.	Càrrega d'arxius i navegació entre finestres	2
2.2.	Finestres de visualització d'un tensor.....	3
2.3.	Finestres de visualització d'un tensor amb fusió alfa amb l'atles	3
2.4.	Finestra de corre registre	4
3.	Objectius	5
a)	Visualitzador d'imatge doble de tres talls	5
b)	Coregistra de imatge rígida	5
	Obtenir la transformació rígida:	5
	Aplicació de la transformació al tensor	6
	Resultat	7
c)	Visualitzar l'hipotàlem sobre la imatge anonimitzada	7
4.	Conclusió	8

1. Introducció

Igual que per a la primera entrega, la pràctica s'ha dut a cap en Python, emprant les llibreries PySimpleGui, Matplotlib i TKinter per a la interfície, juntament amb Pydicom per llegir els arxius DICOM, i Numpy, OpenCV, skimage i scipy per a la manipulació de les imatges. El codi es pot trobar disponible al següent repositori públic de Github:

<https://github.com/Xavi3398/2a-practica-PIM>.

La IGU construïda permet a l'usuari carregar i visualitzar el tensor DICOM del pacient, el "phantom" i l'atles, així com la visualització de l'atles sobre els diferents tensors. També es pot carregar la llista de regions de l'atles des d'un .txt, i elegir quines regions visualitzar. Per a cada tensor, es mostra una visualització en tres talls: axial, coronal i sagital.

Pel que fa al coregistre, l'usuari podrà elegir diferents punts al tensor del pacient i al del "phantom", de forma que es pugui calcular la transformació rígida necessària. Després es podrà dur al pacient a l'espai del "phantom" o viceversa, i visualitzar a sobre l'atles anatòmic.

En aquesta pràctica, també s'ha optat per l'agrupació en finestres dels diferents controls, per tal de deixar ordenades les diferents funcionalitats.

Nota: tot i que el document pareix prou llarg, si s'eliminen portada, índex i figures, ocupa unes 5 pàgines, que és l'extensió que s'estipula a l'enunciat.

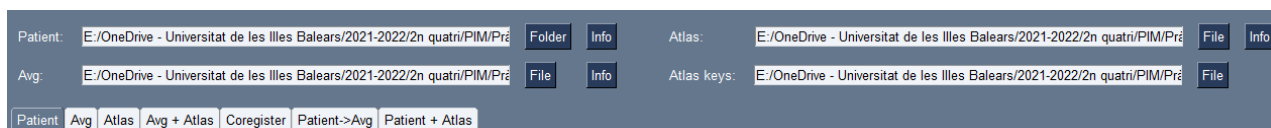
2. Interfície gràfica d'usuari

A continuació s'explica la IGU implementada, agrupant les funcionalitats en diferents mòduls:

2.1. Càrrega d'arxius i navegació entre finestres

A la captura 1 es pot veure la part de la interfície corresponent a la càrrega d'arxius (a dalt) i a la navegació entre finestres (a baix):

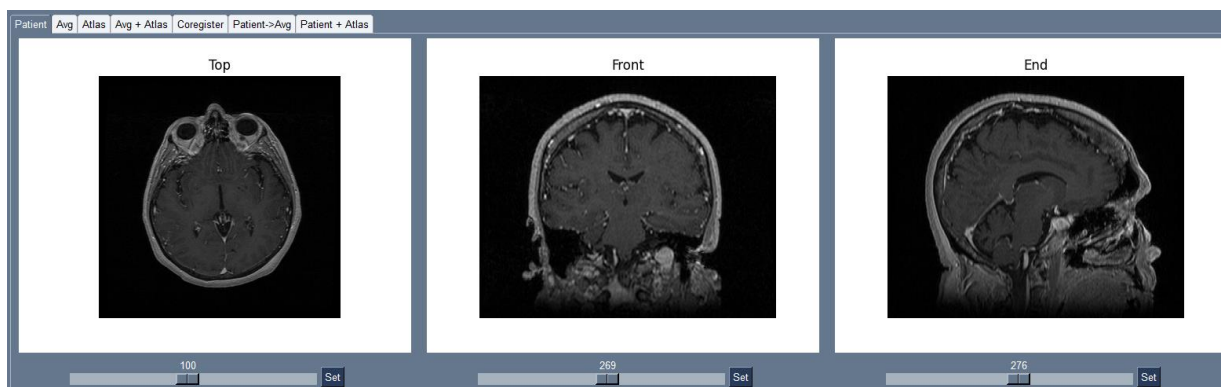
- **Carregar un document.** Es poden carregar el tensor del pacient (carpeta amb els arxius DICOM), el del "phantom", el de l'atles i l'arxiu amb la clau de cada regió de l'atles. Per a cada tensor carregat, es podrà veure la informació de la capçalera pitjant damunt el botó "Info".
- **Navegar entre finestres.** Es podrà canviar la finestra desitjada pitjant a sobre. Per ordre, es poden trobar: visualitzar el tensor del pacient, del "phantom", de l'atles, de l'atles sobre el "phantom", dur a cap el coregistre, visualitzar l'atles sobre el pacient convertit a l'espai del "phantom" i visualitzar l'atles damunt el pacient, convertit al seu espai.



Captura 1. Càrrega d'arxius, visualització de capçaleres DICOM i navegació entre finestres.

2.2. Finestres de visualització d'un tensor

Aquestes són: "Patient" i "Avg", que permeten visualitzar els tensors del pacient anonimitzat i del "phantom". Es tracta d'una senzilla eina de visualització en tres talls (axial, coronal i sagital), com es pot veure a la captura 2. L'usuari podrà moure l'"slider" per canviar l'altura del tall visualitzat en cada dimensió.

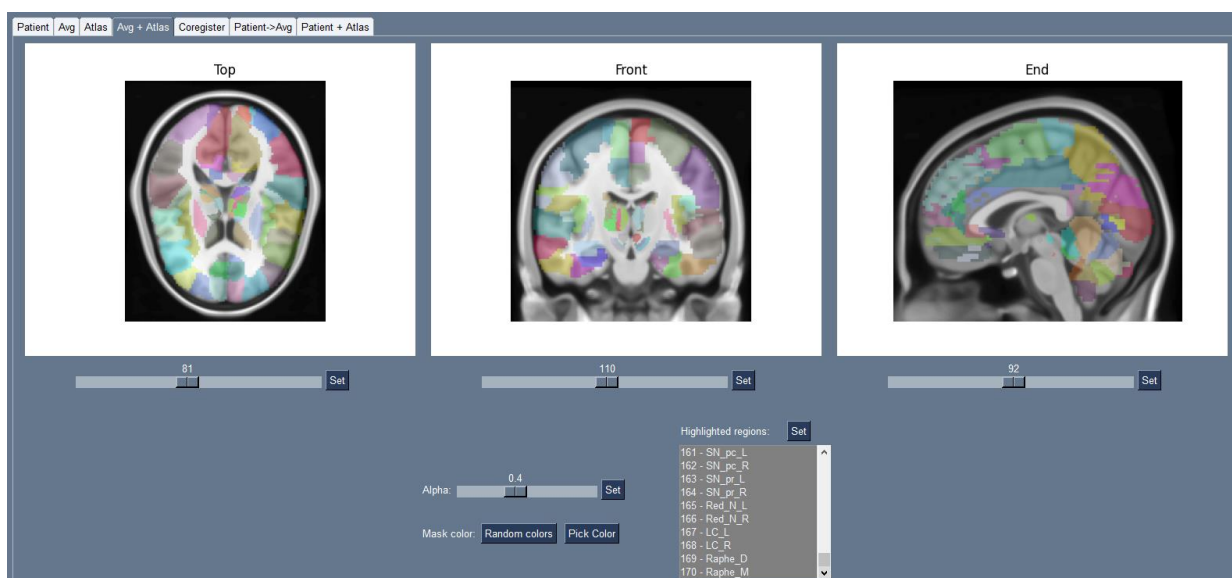


Captura 2. Visualització del tensor del pacient.

2.3. Finestres de visualització d'un tensor amb fusió alfa amb l'atles

Aquestes finestres són: "Avg+Atlas", "Patient->Avg" i "Patient+Atlas". Aquestes finestres permeten la visualització de l'atles amb fusió alfa sobre un altre tensor, tal com es veu a la captura 3. Els controls disponibles són els següents:

- **Visualització del tensor.** Es veuran els tres talls del tensors, podent canviar l'altura del tall en cada dimensió.
- **Valor alfa de la fusió.** Per donar major importància o menys a l'atles.
- **Color de les regions de l'atles.** Es podrà pitjar damunt "Random colors" (que és l'opció per defecte) per tal d'assignar un color aleatori a cada regió de l'atles, o bé es podrà clicar sobre "Pick Color", per elegir un color concret, comú a totes les regions.



Captura 3. Visualització del "phantom" amb fusió alfa amb l'atles.

- **Regions a pintar.** Es deixa seleccionar d'una llista les diferents regions de l'atles que es volen visualitzar. Es podrà elegir una sola regió, o triar-ne varies emprant les tecles Ctrl i Shift tal com es faria per a la selecció múltiple a l'explorador de Windows. Si no s'ha carregat la llista de regions, es mostraran totes, i no es podrà elegir quines veure.

2.4. Finestra de corregistre

Aquesta finestra permet el corregistre entre el tensor del pacient i el del "phantom". El funcionament bàsic es com segueix:

1. **Elecció de punts.** Elegir diferents talls per al tensor del pacient i del "phantom", i clicar sobre diferents punts que coincideixin als dos tensors (és a dir, que els punts clicats a un tensor corresponguin al mateix punt a l'altre). S'aniran guardant les coordenades dels punts a les llistes de la dreta, que es podran buidar en qualsevol moment pitjant a "Reset". Per defecte, es dona una llista de punts que permeten obtenir resultats prou bons per al coregistre.
2. **Calcular la transformació rígida.** Pitjant a "Coregister" es podrà calcular la transformació rígida per traslladar els punts seleccionats al pacient a l'espai del "phantom".
3. **Aplicar la transformació a un tensor.** Pitjant a "Patient->Avg" es traslladarà el pacient a l'espai del "phantom", i pitjant a "Atlas->Patient" es traslladarà l'atles a l'espai del pacient.



Captura 4. Finestra de corregistre.

3. Objectius

A continuació s'explica la forma en què s'ha resolt cadascun dels objectius de la pràctica i es responen les diferents preguntes:

a) Visualitzador d'imatge doble de tres talls

El visualitzador es pot observar a la captura 3, ja mostrada. Aquest tipus de visualització ens permet superposar l'atles anatòmic sobre un altre tensor, ja sigui el "phantom" o el del pacient. Es tracta d'una visualització molt senzilla un cop implementat l'algorisme del pintor a la primera pràctica:

$$C = C_1(1 - \alpha_2) + C_2\alpha_2$$

En aquesta fórmula, C_1 i C_2 són les dues capes (o imatges) i l'alfa ens permet regular l'aportació de cadascuna al resultat final. Això, juntament amb una visualització per talls dels tensors en cada vista: axial, coronal i sagital, permet obtenir el visualitzador que es demana.

Jugant amb els talls visualitzats, es podrà comprovar que es pot veure una mateixa regió en les diferents dimensions, permetent també apreciar la qualitat del coregistre realitzat.

b) Coregistre d'imatge rígida

Es tracta de la part més complicada de la pràctica, i que consisteix en dues parts diferenciades:

Obtenir la transformació rígida:

Es varen barallar dues possibilitats diferents:

- Emprar el codi vist a classe per a aplicar una transformació rígida, i emprar-lo damunt uns "landmarks" anotats a mà. L'error es basarà en la distància entre els "landmarks" origen i destí.
- Emprar una funció externa que apliqui una transformació rígida sobre una imatge de n dimensions. En aquest cas, l'error s'haurà de calcular com la diferència entre tensors, no entre punts.

De les dues possibilitats, s'ha acabat elegint la primera, ja que és la que menys depèn de codi extern, que és més interessant per motius acadèmics. Per tant, el procediment seguit és el següent:

1. **Obtenció de "landmarks"**. Es demana a l'usuari una llista de punts del tensor origen que es corresponguin amb una llista de punts del tensor destí.
2. **Reescalat dels "landmarks"**. Ha sigut necessari reescalar els punts agafats de la imatge original, ja que no es trobaven a la mateixa escala que els de la imatge destí. El reescalat s'ha obtingut directament de la informació de les capçaleres DICOM dels tensors, emprant els valors per a l'espai entre píxels i entre talls. En el cas del "phantom", cada píxel correspon a un mil·límetre en cada dimensió, mentre que en el cas del pacient, depèn de la dimensió: cada píxel correspon a [0'5, 1, 0'5] mm en cada eix.

3. **Inicialització dels paràmetres.** Els paràmetres a optimitzar seran els corresponents a una transformació rígida: translació (x, y, z) i rotació axial (v, x, y, z) , on v és el valor de la rotació y (x, y, z) representarà l'eix de la rotació axial. S'inicialitzen a zero tots. S'ha provat de jugar amb la inicialització, però s'acaba amb resultats pareguts.
4. **Funció a minimitzar.** S'han emprat la funció de residus quadràtics i de transformació rígida que es van veure a classe. La funció consisteix sols en aplicar la transformació rígida emprant el valor actual dels paràmetres, i calcular l'error entre els punts resultants i els punts destí. D'aquesta forma, l'error serà el sumatori de la distància al quadrat d'un punt a la imatge origen transformada amb el seu corresponent a la imatge destí, per a tots els punts.
5. **Optimització dels paràmetres.** S'ha emprat la funció `least_squares`, també seguint l'exemple vist, per tal de minimitzar la funció explicada. S'ha elegit un màxim de 2000 iteracions, i s'han desactivat la resta de paràmetres d'aturada, de forma que sempre es faci aquest nombre d'iteracions, que s'ha observat que dona temps a assolir bons resultats. També ha sigut necessari establir els límits inferior i superior per a cada paràmetre, per arribar a aconseguir una bona solució. Aquests s'han establert en $[-500, 500]$ per a la translació en cada eix, en $[0, 2\pi]$ per al valor de la rotació en radians, i en $[0, 1]$ per a la rotació en cada eix.

Aplicació de la transformació al tensor

Un cop tenim els paràmetres d'una bona transformació rígida, és hora d'aplicar-la al tensor. Aquí trobam dues possibilitats: aplicar la transformació al pacient, duent-lo a l'espai del "phantom", o aplicar la transformació inversa a l'atles (que està en el mateix espai que el "phantom"), duent-lo a l'espai del pacient. Per fer-ho, s'han seguit les següents passes:

1. **Reescalar el tensor del pacient.** Això ha sigut necessari per tenir en compte el canvi d'escala a l'hora de passar d'un espai a un altre. S'ha decidit reescalar sempre el tensor del pacient a l'escala del "phantom", per simplicitat, cosa que s'ha aconseguit emprant la funció `rescale()`, de la llibreria `skimage`.
2. **Aplicar la transformació al tensor objectiu.** Per fer-ho, sols s'han d'agafar totes les coordenades dels vòxels, i calcular les coordenades resultants després de la transformació. Si queden dins els límits del tensor, es posarà el valor del vòxel que tenien les coordenades del tensor original, al vòxel que es correspon amb les noves coordenades calculades. S'ha de tenir en compte que segons el tensor objectiu, s'haurà d'emprar la transformació rígida contrària: calcular primer la rotació i després la translació, emprant els paràmetres de translació i el valor de rotació multiplicat per -1 .

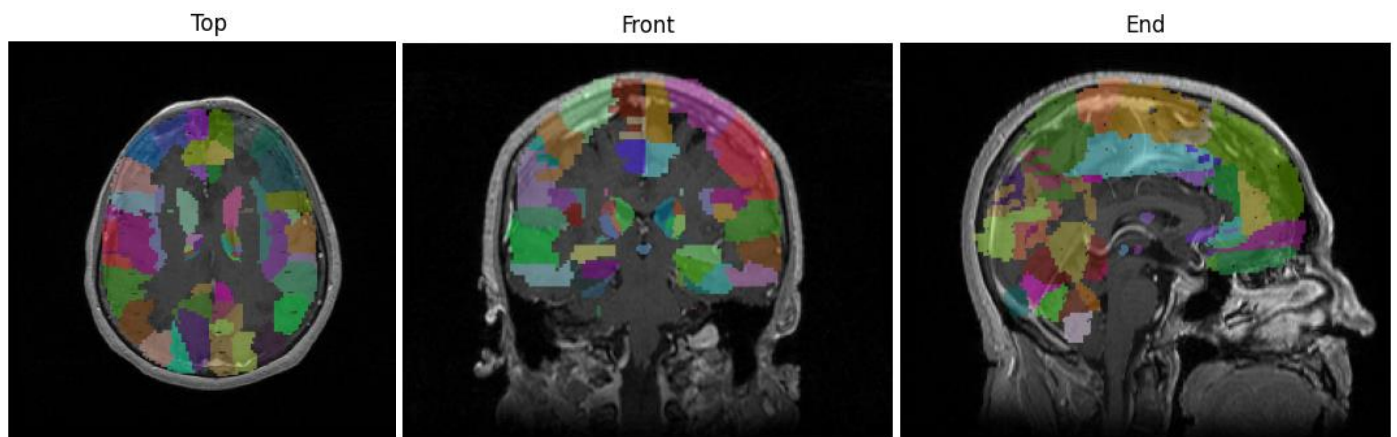
Tot i que s'aconsegueixen resultats prou bons amb aquest mètode, presenta diversos problemes:

- **Lentitud**, degut a que es calcula un nombre de transformacions rígides igual al nombre de vòxels del tensor original, que és molt elevat. Per consola es mostra el progrés del càlcul, actualitzat cada 5s.

- **Imperfeccions.** Com que es fa el mapeig dels vòxels d'un tensor a l'espai de l'altre, pot passar que més d'un vòxel acabin allà mateix, o que algun vòxel es quedi sense valor (per defecte negre). Això tal volta es podria arreglar aplicant una interpolació. Aquests efectes es noten més o menys depenent sobretot de l'angle de la rotació. Per sort, com que la rotació és de gairebé 180°, el resultat es prou bo per al cas que ens ocupa. A la captura 6, primera fila, es poden apreciar dites imperfeccions en les tres vistes.

Resultat

El resultat del coregistre es pot trobar a la captura 5. Com es pot veure, el resultat obtingut de la transformació és prou bo: l'atles es troba rotat i traslladat correctament, fins a coincidir prou bé damunt el tensor del pacient. Es pot veure que l'atles es surt una mica dels límits del pacient, però això pot esser degut a diversos factors: imperfecció dels punts agafats com a referència, falta d'acabar d'optimitzar els paràmetres, diferències entre el pacient i el "phantom", etc.



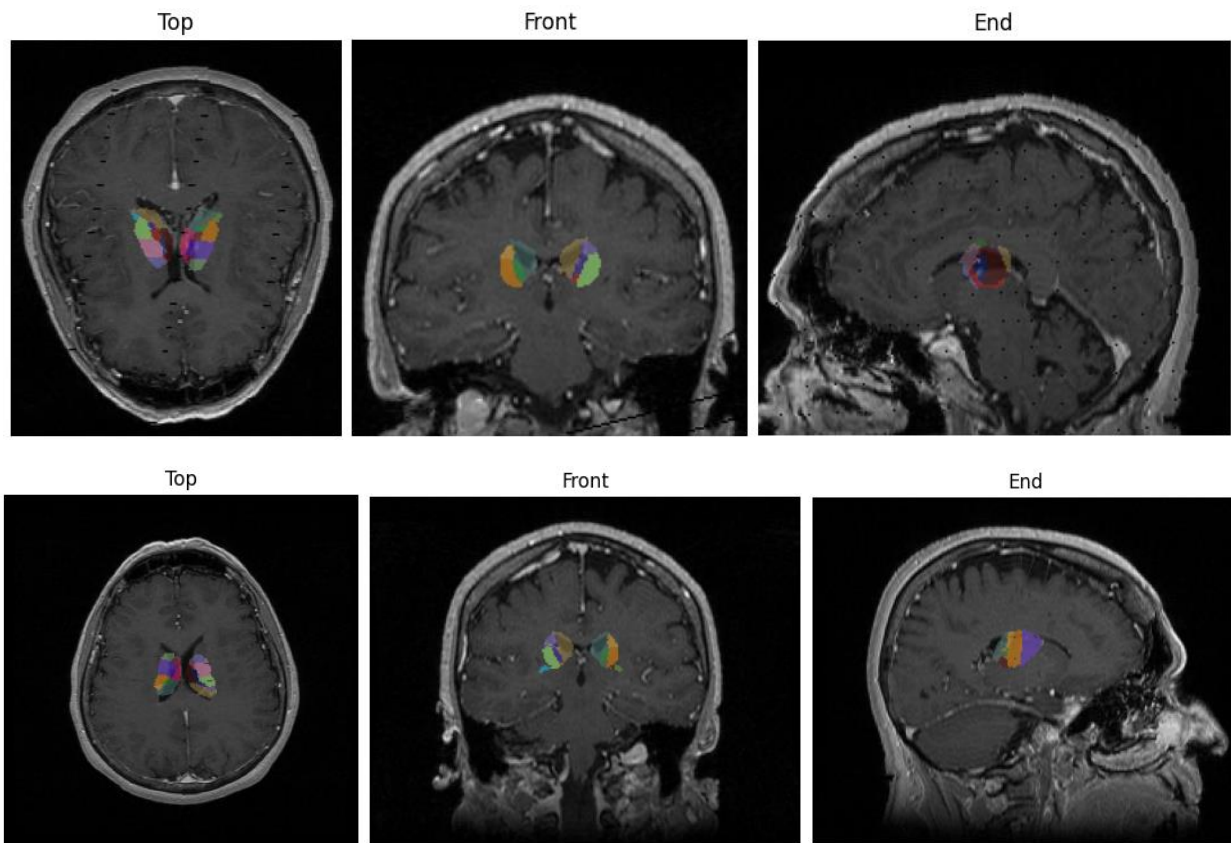
Captura 5. Atlas mogut a l'espai del pacient. Es mostren totes les regions.

c) Visualitzar l'hipotàlem sobre la imatge anonimitzada

Per fer-ho, ha sigut necessari abans calcular la transformació rígida necessària, i després calcular els nous tensors. Després d'això, basta visualitzar el tensor transformat i el no transformat (o bé pacient i atlas, o bé atlas i pacient) amb una fusió alfa. A la captura 5 es mostren els resultats obtinguts.

A la fila superior, es mostra el pacient a l'espai del "phantom", amb l'atles sense alterar a sobre. Es poden veure algunes imperfeccions (clapes negres uniformes) degudes a la transformació. A la fila de baix es pot veure el tensor del pacient sense alterar, amb l'atles a sobre, transformat a l'espai del pacient. En aquest cas, les imperfeccions són menys notables, i es localitzen a l'atles, no al pacient, i per tant seria el més indicat per alterar el mínim possible les dades originals.

Els colors emprats coincideixen en els dos casos, però s'ha de tenir en compte que, en el cas del pacient, el tensor està rotat 180° respecte de l'eix y. Si es volgués saber cada color a quina subregió correspon, s'hauria de seleccionar sols aquella regió per mostrar, ja que no es mostra cap llegenda.



Captura 6. Planta, alçada i perfil amb l'hipotàlem delimitat. A dalt, pacient mogut a l'espai del "phantom". A baix, atlas mogut a l'espai del pacient.

4. Conclusió

Gràcies a la interfície implementada, és senzill carregar diferents tensors i un atlas anatòmic, realitzar el coregistre, i visualitzar les diferents regions d'interés de l'atles sobre qualsevol dels tensors. A més, els resultats obtinguts del coregistre han sigut prou bons, i permeten observar quina regió de la imatge del pacient es correspon amb l'hipotàlem.

De cara a treball futur, seria interessant millorar l'aplicació d'una transformació rígida a un tensor, ja que, tot i que ha sigut suficient per aquesta pràctica, no és el més òptim fer-ho vòxel a vòxel. També podria ser interessant no requerir que l'usuari indicàs punts d'un i altre tensor, calculant l'error de la transformació emprant tot el tensor.