



TRABALLO FIN DE GRAO
GRAO EN ENXEÑARÍA INFORMÁTICA
MENCIÓN EN COMPUTACIÓN



Aliñamento de imaxes oftalmolóxicas usando representacións neuronais implícitas

Estudante: Mateo Amado Ares

Dirección: José Rouco Maseda

Jorge Novo Buján

A Coruña, novembro de 2024.

Dedicatoria

Agradecementos

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Resumo

O aliñamento da imaxe oftalmolóxica é un campo moi relevante. Aliñar imaxes médicas é útil para, entre outras cousas, revisar o avance dunha enfermidade ao longo do tempo. O caso dos ollos é de particular importancia xa que permiten a observación in-vivo de tecido neuronal e vasos sanguíneos. Aliñar as imaxes manualmente é un proceso tedioso e complexo, polo que automatizar este proceso é moi beneficioso.

Neste traballo explórase o uso de redes de representación implícita, onde se parametriza a imaxe como unha función continua coas coordenadas como entrada e o valor do pixel como saída. Isto aporta vantaxes fronte a representacións tradicionais discretas como independencia de resolución e poder prescindir de grandes bases de datos xa que se adestran mediante un proceso de optimización para cada grupo de imaxes. Ademais, en lugar de usar funcións de activación estándar como RELU, adoitan empregar unha función de activación sinusoidal (SIREN), que pode axudar a eliminar o sesgo cara sinais de baixa frecuencia e mapear mellor deformación pequenas e detalladas.

Adaptando o traballo realizado por [1], valorarase se este método é apto para a tarefa de aliñamento de imaxes oftalmolóxicas e como se compara con métodos convencionais.

Abstract

Ophthalmic image alignment is a highly relevant field. Aligning medical images is useful for, among other things, reviewing the progression of a disease over time. The case of eyes is particularly important as they allow in-vivo observation of neuronal tissue and blood vessels. Manually aligning images is a tedious and complex process, so automating this process is beneficial.

This work explores the use of implicit representation networks, where the image is parameterized as a continuous function with coordinates as input and pixel value as output. This provides advantages over traditional discrete representations such as resolution independence and the ability to dispense with large databases since they are trained through an optimization process for each group of images. Furthermore, instead of using standard activation functions like RELU, they typically employ a sinusoidal activation function (SIREN), which can help eliminate bias towards low-frequency signals and better map small and detailed deformations.

Based on the work done by [1], this study will evaluate whether this method is suitable for the task of aligning ophthalmic images and how it compares to conventional methods.

Palabras chave:

- Imagen médica
- Imagen oftalmológica
- Aprendizaje profundo
- Registro de Imágenes
- Representaciones neuronales implícitas

Keywords:

- Medical imaging
- Ophthalmological imaging
- Deep learning
- Image Registration
- Implicit neural representations (INRs)

Índice Xeral

1	Introdución	1
1.1	Motivación	1
1.2	Obxectivos	2
1.3	Estructura	2
2	Contexto	3
2.1	Oftalmoloxía	3
3	Contido demostrativo	4
3.1	Inclusión de imaxes	4
3.1.1	Inclusión de varias sub-imaxes	4
3.2	Inclusión de táboas	5
3.2.1	Inclusión de táboas longas	5
3.2.2	Inclusión de táboas con celas que ocupan varias columnas ou filas . . .	7
3.3	Inclusión de código fonte	8
3.4	Uso da relación de acrónimos e do glosario	8
A	Material adicional	11
	Relación de Acrónimos	13
	Glosario	14
	Bibliografía	15

Índice de Figuras

3.1	Pé de imaxe descritivo	4
3.2	Pé de imaxe xeral	5

Índice de Táboas

3.1	Pé de táboa descritivo	5
3.2	Pé descritivo dunha táboa longa	6
3.3	Pé de táboa descritivo (táboa con celas que ocupan varias columnas)	9
3.4	Pé de táboa descritivo (táboa con celas que ocupan varias filas)	9
3.5	Pé de táboa descritivo (táboa con celas que ocupan varias columnas)	9

Capítulo 1

Introdución

Neste primer capítulo expóñense as motivacións e obxetivos deste traballo. Ademais, detallarase a estrutura da memoria e os apartados que a conforman.

1.1 Motivación

A oftalmoloxía vólase da análise de imaxes obtidas por diversos métodos para realizar diagnósticos e seguimentos precisos. Non obstante, dado que estas imaxes poden prover de distintas modalidades e foron tomadas en instantes separados no tempo, é preciso aliñalas para poder comparalas de xeito efectivo. O aliñamento de imaxes é un proceso que se leva a cabo para poder comparar imaxes dun mesmo paciente tomadas en distintos momentos, ou para comparar imaxes de diferentes pacientes. Consiste en deformar dúas ou máis imaxes de forma que as características de interese se atopen na mesma posición (superpostas). Este é un proceso tedioso e propenso a erros, polo que calquer mellora nel é de gran interese para os profesionais da saúde. Esta tarefa é axeitada para ser automatizada, xa que é non require dun xuízo clínico, senón que se basea na comparación de características visuais das imaxes. A automatización deste proceso permitiría aos profesionais da saúde dedicar máis tempo a tarefas máis relevantes.

Xa existen diversas técnicas para realizar aliñamento de imaxes automático, especialmente ca chegada do deep learning á visión por computador para imaxes médicas, onde unha aproximación habitual é o uso de redes neuronais convolucionais. Estes métodos, aínda que efectivos, teñen limitacións. Unha delas é que requiren dunha gran cantidade de datos para o seu adestramento, o que pode ser un problema en campos como a medicina, onde a obtención de datos é cara e complexa. Ademais, xeralmente teñen unha precisión menor ca métodos automáticos convencionais, pese a que si que son máis rápidos. Adaptando o traballo realizado por [1], preténdese aplicar redes de representación implícita para o aliñamento de imaxes oftalmolóxicas.

1.2 Obxectivos

Neste traballo explorarase o uso de redes de representación implícita para o aliñamento de imaxes oftalmolóxicas, para determinar se son aptas para esta tarefa e se poden superar as limitacións dos métodos anteriores. Para iso, os obxectivos específicos son:

- Adaptar o traballo de IDIR [1] para aplicalo a imaxes oftalmolóxicas.
- Comparar o rendemento do método proposto co de métodos automáticos convencionais nos datasets de FIRE [2] e RFMID [3].
- Analizar a influencia de distintos parámetros no rendemento do método proposto, en particular a influencia da función de activación SIREN.

1.3 Estructura

Nesta sección detallarase a estrutura da memoria e os apartados que a conforman.

- **Capítulo 1: Introducción:** neste capítulo introdúcese o traballo, explicando as motivacións e obxetivos do mesmo.
- **Capítulo 2: Contexto:** neste capítulo explicarase o contexto do traballo, introducindo conceptos básicos de visión por computador e imaxes médicas, así como o estado da arte en aliñamento de imaxes.
- **Capítulo 3: Metodoloxía e planificación:** neste capítulo explicarase a metodoloxía empregada e a planificación do traballo.
- **Capítulo 4: Experimentos e resultados:** neste capítulo presentaranse os experimentos realizados e os resultados obtidos.
- **Capítulo 5: Discusión:** neste capítulo discutiranse os resultados e compararanse cos resultados de outros métodos.
- **Capítulo 6: Conclusións:** neste capítulo presentaranse as conclusións do traballo e as súas implicacións.
- **Capítulo 7: Traballo futuro:** neste capítulo propoñeranse liñas de traballo futuro.

A^{BC.}

2.1 Oftalmología

Contido demostrativo

ENTRE a introdución e as conclusións, o documento conterá tantos capítulos como sexa preciso, sempre con coidado de non rebasar o límite de 80 páxinas fixado polo regulamento de TFGs.

Empregaremos éste de xeito demostrativo, para ilustrar o uso de elementos habituais que poidan ser de utilidade¹.

3.1 Inclusión de imaxes

Se precisamos imaxes no noso documento, incluírémoslas do xeito que se indica na figura 3.1 (páxina 4). Se o facemos así, \LaTeX ubicará cada imaxe no mellor lugar posible, lugar que pode variar a medida que o documento vaia crescendo coa inclusión de máis texto e outros elementos (máis imaxes, táboas, etc.).



Figura 3.1: Pé de imaxe descritivo

Recoméndase almacenar os ficheiros gráficos no directorio `imaxes`.

3.1.1 Inclusión de varias sub-imaxes

Se precisamos inserir imaxes relacionadas, pode ser apropiado incluílas como sub-figuras, do xeito que se pode apreciar na figura 3.2 (páxina 5) coas imaxes 3.2a e 3.2b. Como se pode ver nos exemplos desta sección, sempre é recomendable referirse ás imaxes (ou táboas e outros elementos *flotantes*, que se demostrarán nas seccións seguintes deste capítulo demostrativo)

¹ Por exemplo, isto é unha nota a pé de páxina.

pola súa referencia, xa que dese xeito non dependemos de onde queden ubicados os elementos en cuestión.

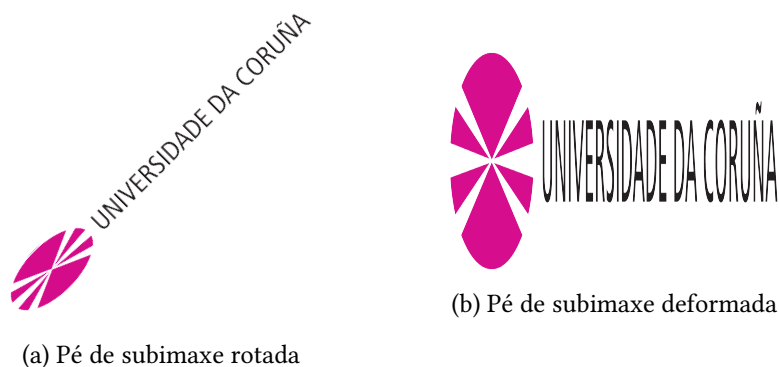


Figura 3.2: Pé de imaxe xeral

3.2 Inclusión de táboas

Se precisamos táboas no noso documento, incluíremolas do xeito que se indica na táboa 3.1 (páxina 5). Se o facemos así, \LaTeX ubicará cada táboa no mellor lugar posible, lugar que pode variar a medida que o documento vaia crescendo coa inclusión de máis texto e outros elementos (máis imaxes, táboas, etc.).

Título de columna	Outro título de columna
Título de fila	Contido da cela
Título de fila	Contido da cela
Título de fila	Contido da cela
Título de fila	Contido da cela
Título de fila	Contido da cela
Título de fila	Contido da cela

Táboa 3.1: Pé de táboa descritivo

3.2.1 Inclusión de táboas longas

Para táboas longas que ocupan varias páxinas, como é o caso da 3.2 (páxina 6), recoméndase o uso do paquete `lontable`, incluído xa entre os paquetes recomendados no ficheiro raíz do proxecto (`memoria_tfg.tex`).

Táboa 3.2: Pé descritivo dunha táboa longa

Primeira columna	Segunda columna	Terceira columna
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778

..... (continúa na páxina seguinte)

Táboa 3.2 – (vén da páxina anterior)

Primeira columna	Segunda columna	Terceira columna
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778
Texto de exemplo	abcdef ghijklmn	123.456778

3.2.2 Inclusión de táboas con celas que ocupan varias columnas ou filas

En ocasións pode resultar de interese incluír nunha táboa unha cela que se estenda a través de varias columnas, como ocorre na táboa 3.3 (páxina 9).

Tamén pode resultar necesario facer o propio mais en varias filas da mesma columna, como ocorre na táboa 3.4 (páxina 9). Para isto é preciso o paquete `multirow`, incluído entre os recomendados no ficheiro raíz do proxecto (`memoria_tfg.tex`).

O uso de celas multifila requirirá do xuste da coloración das filas, a fin de manter a coherencia entre o contido e o continente. Así, no canto de usar un único comando `rowcolors` para indicar a alternancia en toda a táboa, usaremos o comando `rowcolor` antes dunha

fila que queiramos colorear, e o comando `cellcolor` dentro dunha cela que queiramos colorear.

Por suposto, pódense combinar nunha mesma táboa os dous tipos de celas (as que se estenden máis dunha fila e máis dunha columna), como na táboa 3.5 (páxina 9).

3.3 Inclusión de código fonte

Se precisamos incluír fragmentos de código fonte, podemos facelo, por exemplo, da seguinte maneira:

```
1 #include <stdio.h>
2 #define N 10
3
4 int main()
5 {
6     int i;
7
8     // Isto é un comentario
9     puts("Ola, mundo!");
10
11    for (i = 0; i < N; i++)
12    {
13        puts("LaTeX é a ferramenta de edición ideal para profesionais
14            da informática!");
15    }
16
17    return 0;
18 }
```

3.4 Uso da relación de acrónimos e do glosario

Os acrónimos editáanse no ficheiro `bibliografia/acronimos.tex` e úsanse empregando a orde `acrlong` para obter o termo completo (deste xeito: [Erlang Open Telecom Platform](#)), a orde `acrshort` para obter o acrónimo (deste xeito: [ERLANG/OTP](#)). A primeira vez que usamos un termo con acrónimo no documento é recomendable usar orde `acrfull` (que produce ambas versións á vez: [Erlang Open Telecom Platform \(ERLANG/OTP\)](#)). Os acrónimos que non se usan no documento, non aparecen na relación que se xera na versión PDF.

Pola súa banda, os termos do glosario editáanse no ficheiro `bibliografia/glosario.tex` e úsanse empregando a orde `gls` (deste xeito, [bytecode](#)) ou `Gls` (deste xeito, [Bytecode](#)). Ao igual que os acrónimos, os termos que non se usan no documento, non aparecen na relación que se xera na versión PDF.

Cela en varias columnas		
Título de columna	Outro título de columna	Outro título máis
<i>Título de fila</i>	Contido da cela	Contido da cela
<i>Título de fila</i>	Contido da cela	Contido da cela
<i>Título de fila</i>	Contido da cela múltiple	
<i>Título de fila</i>	Contido da cela	Contido da cela

Táboa 3.3: Pé de táboa descritivo (táboa con celas que ocupan varias columnas)

Título de columna	Outro título de columna
<i>Título de fila</i>	Contido da cela
	Contido da cela
<i>Título de fila</i>	Contido da cela
<i>Título de fila</i>	Contido da cela
	Contido da cela
	Contido da cela
<i>Título de fila</i>	Contido da cela

Táboa 3.4: Pé de táboa descritivo (táboa con celas que ocupan varias filas)

Cela en varias columnas		
Título de columna	Outro título de columna	Outro título máis
<i>Título de fila</i>	Contido da cela	Contido da cela
	Contido da cela	Contido da cela
<i>Título de fila</i>	Contido da cela múltiple	
<i>Título de fila</i>	Contido da cela	Contido da cela
	Contido da cela múltiple	
	Contido da cela múltiple	
<i>Título de fila</i>	Contido da cela	Contido da cela

Táboa 3.5: Pé de táboa descritivo (táboa con celas que ocupan varias columnas)

Apéndices

Material adicional

EXEMPLO de capítulo con formato de apéndice, onde se pode incluír material adicional que non teña cabida no corpo principal do documento, suxeito á limitación de 80 páxinas establecida no regulamento de TFGs.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed

interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Relación de Acrónimos

ERLANG/OTP Erlang Open Telecom Platform. [8](#)

Glosario

bytecode Código independente da máquina que xeran compiladores de determinadas linguaxes (Java, Erlang,...) e que é executado polo correspondente intérprete.. [8](#)

Bibliografía

- [1] J. M. Wolterink, J. C. Zwienenberg, and C. Brune, “Implicit neural representations for deformable image registration,” in *Medical Imaging with Deep Learning 2022*, 2022.
- [2] C. Hernandez-Matas, X. Zabulis, A. Triantafyllou, P. Anyfanti, S. Douma, and A. A. Argyros, “Fire: Fundus image registration dataset,” *Modeling and Artificial Intelligence in Ophthalmology*, vol. 1, no. 4, p. 16–28, Jul. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.maio-journal.com/index.php/MAIO/article/view/42>
- [3] S. Pachade, P. Porwal, D. Thulkar, M. Kokare, G. Deshmukh, V. Sahasrabuddhe, L. Giancardo, G. Quellec, and F. Mériaudeau, “Retinal fundus multi-disease image dataset (rfmid): A dataset for multi-disease detection research,” *Data*, vol. 6, no. 2, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2306-5729/6/2/14>