

Registro de Imagens Demons versus TPS

Thiago de Gouveia Nunes

IME - USP

11 de dezembro de 2014

O registro de imagens tem como objetivo alinhar duas imagens diferentes.

Dentro de processamento de imagens médicas o registro é usado como uma ferramenta auxiliar em vários estudos, entre eles:

- ▶ Retirar deformações resultantes da movimentação do paciente ou do seus tecidos;
- ▶ Retirar características individuais em estudos populacionais.

O registro pode ser classificado quanto ao tipo de deformação que ele tenta restaurar:

- ▶ Transformações afins, ou lineares;
- ▶ Transformações não afim, ou não lineares.

O algoritmo de registro recebe como entrada duas imagens, a imagem de referência (R) e a alvo (A).

Cada algoritmo utiliza um método diferente para calcular um campo vetorial que é aplicado a imagem alvo a fim de alinhá-la com a imagem referência.

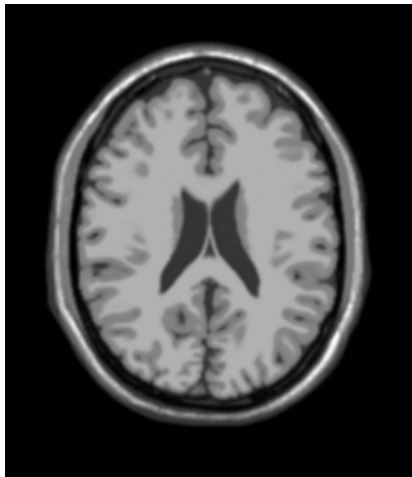


Figura : Imagem Referência.

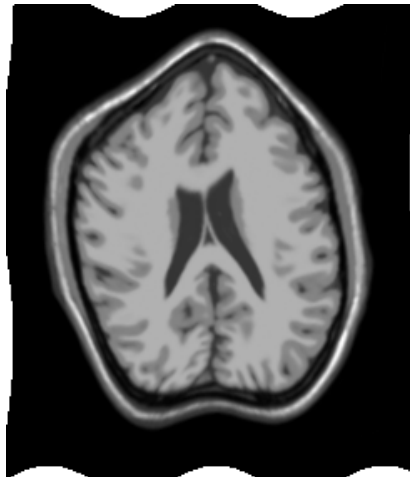


Figura : Imagem Alvo.

Esse trabalho tem como objetivo a comparação dos métodos *Demons*[Thi95] e *Thin Plate Splines*[Gos88] (TPS) para recuperar deformações aplicadas a imagens médicas. Eles são algoritmos especializados em registro não linear.

O Demons tem como base o modelo de atratores, em que pontos são definidos das duas imagens e os pontos da imagem alvo são atraídos por pontos da imagem referência usando alguma métrica. O Demons aplica uma dimensão de informação a mais ao modelo de atratores, acrescentando a cada ponto uma direção associada ao gradiente da imagem. Cada atrator no Demons é chamado de Demon.

O Demons supõe que a transformação só movimenta os pixels e não muda suas intensidades.

$$i(x(t), y(t), z(t)) = \text{const} \quad (1)$$

Derivando (1) temos:

$$\frac{\partial i}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial i}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} = - \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2)$$

Supondo que as duas imagens que temos diferem de uma unidade de tempo $\partial i / \partial t = r - a$, r e a as intensidades de R e A respectivamente e que a velocidade instantânea $\vec{v} = (dx/dt, dy/dt)$ é aplicada a cada pixel para movê-lo de A para R, chegamos a equação:

$$\vec{v} * \vec{\nabla} r = a - r, \text{ onde } \vec{\nabla} r \text{ é o gradiente de R} \quad (3)$$

O Demons é um algoritmo iterativo. Como entrada ele recebe a imagem referência e alvo e possivelmente um campo vetorial inicial. Seus passos são:

- ▶ Para cada Demon em A_i , calculamos \vec{v}_i , criando um novo campo vetorial V_i
- ▶ Aplicamos um filtro Gaussiano para retirar o ruído introduzido pelo processo em V_i
- ▶ Aplicamos V_i em A para obter A_{i+1} ;

No artigo que define o Demons, o autor também cria uma variação dele, chamada de Demons Simétrico.

O método simétrico utiliza o gradiente da imagem deformada para calcular a próxima iteração:

$$\vec{v} = \frac{4(a - r) * \vec{\nabla} r |\vec{\nabla} r| |\vec{\nabla} a|}{(\vec{\nabla} r + \vec{\nabla} a)^2 * (\vec{\nabla} r^2 + \vec{\nabla} a^2 + 2(a - r)^2)} \quad (4)$$

O Thin Plate Splines (TPS) utiliza um outro paradigma para realizar o registro de imagens. Ele utiliza características para criar uma função de interpolação que é utilizada para criar a imagem registrada a partir da imagem referência.

Dados as características na imagem referência $(x_i, y_i, i = 1, \dots, n)$ e na imagem alvo $(X_i, Y_i, i = 1, \dots, n)$ o TPS cria uma função que mapeia exatamente cada característica da imagem referência na sua correspondente na imagem alvo e que é capaz de interpolar os pontos restantes para a imagem final.

Para realizar essa tarefa é utilizada uma função que define uma superfície que sofre a ação de pesos centrados nas características da imagem referência. A superfície é definida pela seguinte equação[Boo89]:

$$f(x, y) = A_0 + A_1x + A_2y + \sum_{i=0}^n F_i r_i^2 \ln r_i^2 \quad (5)$$

Onde $r_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + d^2$, d é um fator de rigidez da superfície, quanto mais próximo de zero d é mais a superfície sofre ação dos pontos de controle, e os pontos (x_i, y_i) são os pontos de controle.

O TPS deve então determinar os valores das variáveis A_0, A_1, A_2 e dos F_i :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n F_i &= 0, \sum_{i=1}^n F_i x = 0, \sum_{i=1}^n F_i y = 0 \\ f(x_1, y_1) &= A_0 + A_1 x + A_2 y + \sum_{i=0}^n F_i r_{i1}^2 \ln r_{i1}^2 \\ &\vdots \\ f(x_n, y_n) &= A_0 + A_1 x + A_2 y + \sum_{i=0}^n F_i r_{in}^2 \ln r_{in}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Para os experimentos uma das imagens padrão do software BiolImage[PJR⁺05] foi utilizada. As deformações aplicadas a imagem de teste foram baseadas nas encontradas no artigo escrito por Zargorchev[ZG06].

As transformações serão aplicadas a grade abaixo.

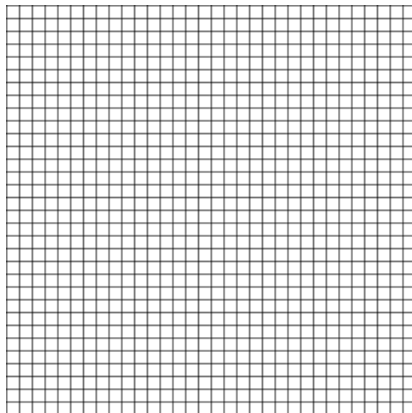


Figura : Imagem Base.

A primeira transformação é dada por:

$$\begin{aligned} X &= x + 50(x - x_c)/r \\ Y &= y + 50(y - y_c)/r \end{aligned} \quad (7)$$

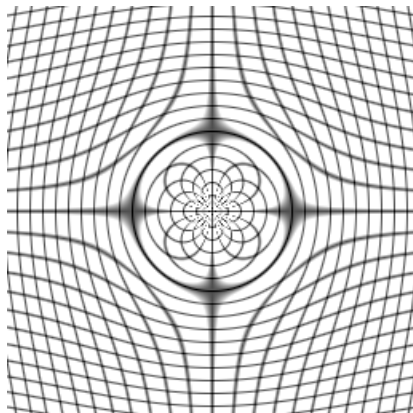


Figura : Imagem Alvo.

A segunda transformação é dada por:

$$\begin{aligned} X &= x - 8\sin(x/32) \\ Y &= y + 4\cos(x/16) \end{aligned} \quad (8)$$

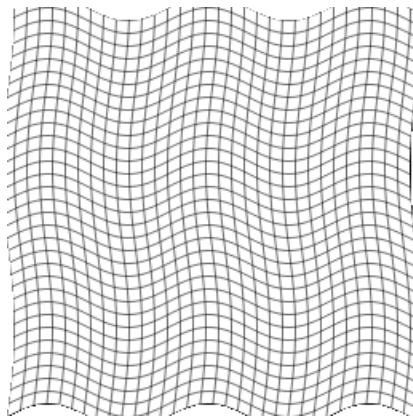


Figura : Imagem Alvo.

A última transformação é dada pela combinação das duas:

$$\begin{aligned} X &= x - 8\sin(x/32) \\ Y &= y + 4\cos(x/16) \end{aligned} \quad (9)$$

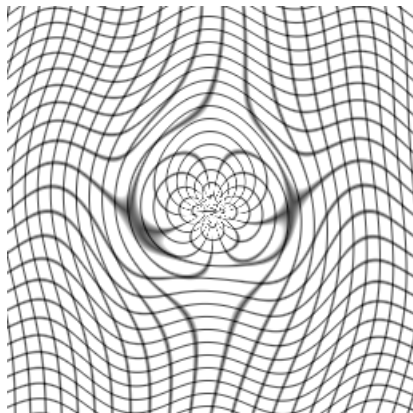
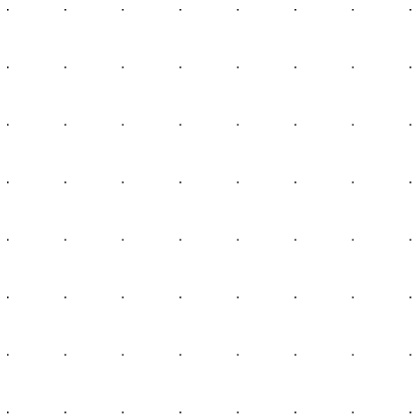


Figura : Imagem Alvo.

As características do TPS foram gerados usando uma grade uniforme de pontos:



Que depois foi deformada pela função em questão:



A imagem referência:

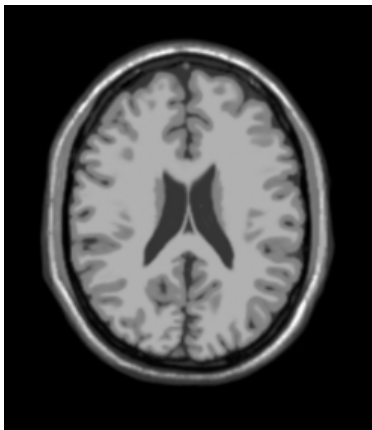


Figura : Imagem referência.

A imagem deformada pela função de distância inversa:

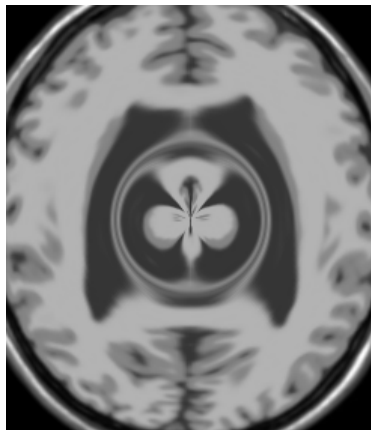


Figura : Imagem Alvo.

A imagem deformada pela função senoidal:

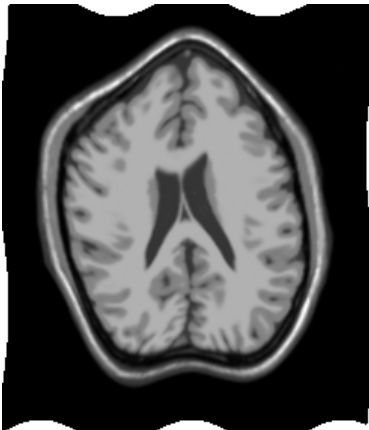


Figura : Imagem referência.

A imagem deformada pela combinação das duas funções:



Figura : Imagem Alvo.

TPS para a senoidal:

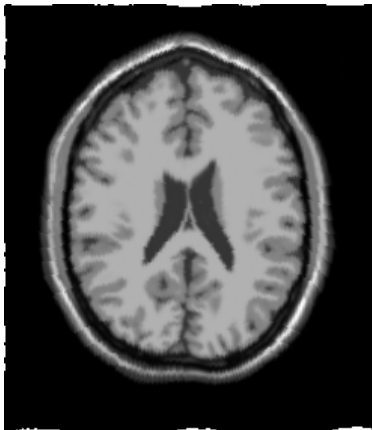


Figura : Imagem referência.

Demons para a senoidal:

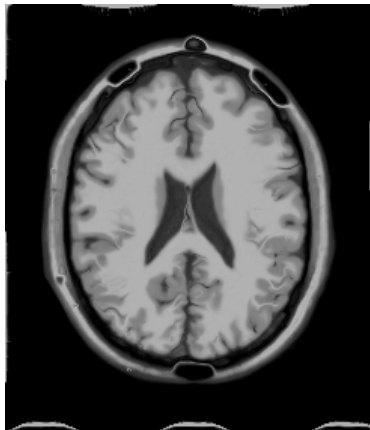


Figura : Imagem Alvo.

TPS para a direção inversa:



Figura : Imagem referência.

Demons para a direção inversa:



Figura : Imagem Alvo.

TPS para a combinada:



Figura : Imagem referência.

Demons para a combinada:

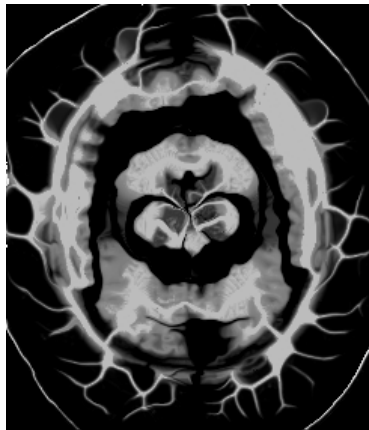


Figura : Imagem Alvo.

Considerações sobre o Demons:

- ▶ Como o Demons utiliza o gradiente das duas imagens para definir a direção dos vetores, ele é sensível a deformações bruscas, como a distância inversa;
- ▶ O Demons utiliza um filtro gaussiano a cada iteração, introduzindo uma suavização a imagem.

Considerações sobre o TPS:

- ▶ Como os pontos de controles foram gerados de maneira uniforme, as transformações jogaram alguns pontos para fora da imagem prejudicando a sua eficácia;
- ▶ Ele obtém melhores resultados porém não é tão rápido quanto o Demons.

O TPS gerou os melhores resultados no geral.

O Demons obtêm resultados aceitáveis dado que a transformação seja uniforme.

Um próximo passo para o estudo é a aceleração do TPS e a utilização de um algoritmo para a determinação das características.

Referências

Fred L. Bookstein, *Principal warps: Thin-plate splines and the decomposition of deformations*, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence **11** (1989), no. 6, 567–585.

Ardeshir Goshtasby, *Registration of images with geometric distortions*, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on **26** (1988), no. 1, 60–64.

Xenophon Papademetris, Marcel Jackowski, Nallakkandi Rajeevan, R Todd Constable, and LH Staib, *Bioimage suite: An integrated medical image analysis suite*, The Insight Journal **1** (2005), 3.

Referências (cont.)

Jean-Philippe Thirion, *Fast non-rigid matching of 3d medical images*.

Lyubomir Zagorchev and Ardeshir Goshtasby, *A comparative study of transformation functions for nonrigid image registration*, Image Processing, IEEE Transactions on **15** (2006), no. 3, 529–538.