

Um *framework* para aplicações de DTI

Adiel Mittmann¹, Daniel Duarte Abdala², Leandro Coser³, Aldo von Wangenheim⁴

^{1,2,3,4}Laboratório de Processamento de Imagens e Computação Gráfica (LAPIX),
Departamento de Informática e Estatística (INE),
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil

Resumo - A Ressonância Magnética por Tensores de Difusão é uma recente técnica de imagiografia não invasiva, que permite mapear a difusão média da água nos tecidos fibrosos. Entretanto, para que se possa utilizar de maneira proveitosa os recursos oferecidos por exames DTI, existe a necessidade de uma grande quantidade de operações complexas de cálculo. Neste contexto, a presente metodologia propõe um *framework* para aplicações de DTI. O *framework* é constituído de três partes: uma biblioteca base, contendo as funções necessárias para leitura e escrita de imagens médicas e algoritmos de processamento de imagens; ferramentas de linha de comando para acesso à biblioteca via *scripts*; e um ambiente gráfico para visualização.

Palavras-chave: DTI, *framework* DTI, processamento de imagens.

Abstract - Diffusion Tensor Magnetic Resonance Imaging is a recent non-invasive technique that allows the mapping of mean water diffusion in fibrous tissues. However, in order to take full advantage of DTI examinations, a great amount of complex calculations is needed. In this context, the present methodology proposes a framework for DTI applications. This framework is divided in three parts: a base library, providing functions to read and write medical images and digital image processing algorithms; command line tools, allowing access to the library through scripts; and a graphical environment for visualization.

Keywords: DTI, DTI framework, image processing.

1 Introdução

Atualmente existem diversas técnicas de imagiografia *in vivo*. Dentre elas, destaca-se a Ressonância Magnética (*Magnetic Resonance Imaging — MRI*). As imagens geradas por estes exames propiciam a observação de estruturas internas do corpo humano de maneira não invasiva, oferecendo um bom contraste entre vários tipos de tecidos e, conseqüentemente, auxiliam no desenvolvimento técnico-científico de processos mais precisos e confiáveis em rotinas hospitalares. Como exemplo, a construção de ferramentas para o planejamento cirúrgico e suporte a diagnóstico.

A cada dia, são apresentados modernos aparelhos de ressonância magnética, que oferecem novas possibilidades de uso do protocolo de aquisição de imagens. Uma das variações deste protocolo é a Ressonância Magnética por Tensores de Difusão [1, 2], conhecida por DTI (*Diffusion Tensor Imaging*). A imagiografia por DTI ainda não é amplamente conhecida, pois somente aparelhos mais recentes podem ser usados para a execução desse exame. No

entanto, este tipo de exame tem sido avaliado em muitos estudos [3] que até então não poderiam ser executados, sendo uma valiosa ferramenta de pesquisa. A novidade a respeito do exame de DTI está no fato de que esta técnica permite o mapeamento da movimentação das moléculas de água, ou seja, possibilita a observação da difusão da água. Atualmente, a maioria desses estudos tem se voltado na área neurorradiológica.

Sinais de DTI são passíveis de serem observados devido às características das moléculas de água durante sua difusão. O movimento da água nos tecidos não é isotrópico (regular) e por esta razão diz-se observar a anisotropia nos tecidos. Os tecidos fibrosos tendem a causar o efeito da anisotropia [4], pois neles a orientação da difusão dá-se ao longo das fibras. Sendo assim, a difusão não ocorre igualmente em todas as direções, já que existem barreiras. Em DTI, a anisotropia em cada *voxel* é representada por uma elipsóide (conforme a Figura 1), que tem certo formato e orientação. A abstração matemática das elipsóides para fins de cálculo é denominada tensor. Os tensores expressam quantitativamente o deslo-

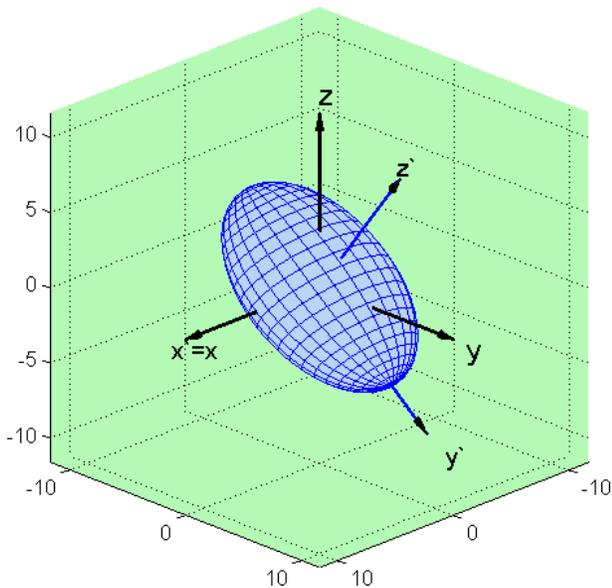


Figura 1: Representação do tensor de difusão através de uma elipsóide.

camento médio das moléculas de água em variadas direções [5].

Os aparelhos de ressonância magnética produzem, para um exame de DTI, uma imagem de referência e um conjunto de no mínimo 6 imagens correspondentes a diferentes direções de difusão (veja a Figura 2). Estas imagens não determinam diretamente o tensor de difusão; os elementos da matriz do tensor de difusão precisam ser calculados a partir das imagens fornecidas pelos aparelhos. Dos tensores de difusão pode-se construir alguns tipos de mapas (como o da Figura 3), que são úteis para a interpretação dos exames DTI. Neste contexto, esta metodologia apresenta a estrutura de um *framework* que auxilie a criação de ferramentas de software que tratem sinais produzidos pelos exames DTI bem como uma ferramenta de alto nível para projeto de sistemas e visualização de componentes isolados do *framework*.

2 Metodologia

O *framework* proposto para aplicações de DTI está estruturado em três partes, conforme mostra a Figura 4. As três partes são:

- A *biblioteca*, que é responsável pelo acesso às imagens médicas e também por todos os algoritmos de processamento de imagens.
- Os *programas de linha de comando*, que são

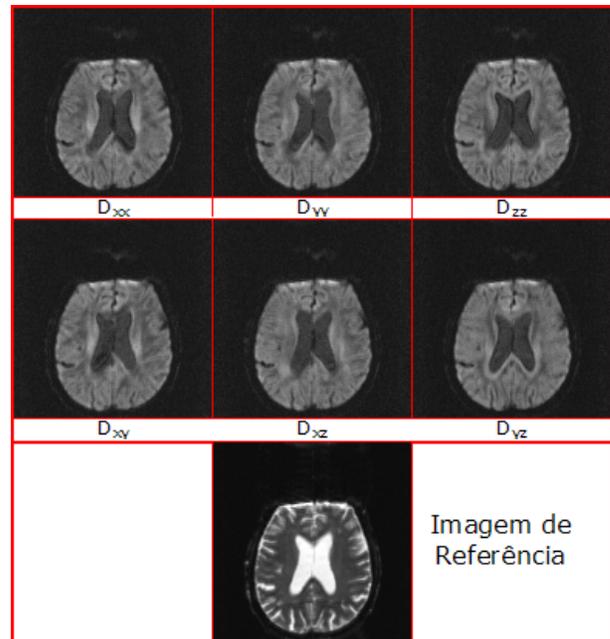


Figura 2: Imagens DTI obtidas de um aparelho de ressonância magnética.

uma interface para as funções da biblioteca.

- O *ambiente gráfico*, uma ferramenta exploratória do *framework*.

Todas as partes do *framework* são acessíveis pelo usuário. Sendo assim, é possível acessar a biblioteca diretamente ou utilizar as interfaces providas pelo ambiente gráfico e pelos programas de linha de comando.

2.1 A biblioteca

Uma das responsabilidades da biblioteca é a leitura de imagens. Esta tarefa não se restringe ao carregamento de valores de píxeis na memória; as imagens médicas manipuladas por aplicações de DTI precisam de mais informação. No entanto, nem sempre estas informações estão facilmente disponíveis nos arquivos das imagens. Em alguns casos, a leitura de imagens exige algumas heurísticas para determinar certos parâmetros, enquanto que em outros uma intervenção do usuário se faz necessária.

Os formatos suportados de imagem são o DICOM [6] e o Analyze [7]. O formato DICOM apenas recentemente incorporou *tags* específicas para DTI, e por isso existem aparelhos que, mesmo utilizando o padrão DICOM, não fazem uso destas *tags*. Alguns fabricantes, como a SIEMENS, criaram *tags* próprias



Figura 3: Mapa de anisotropia fracional.

para estes dados em alguns aparelhos, enquanto outros simplesmente não os incluem nos arquivos gerados.

Na biblioteca estão também os algoritmos de DTI. Estes algoritmos podem ser divididos em quatro classes principais:

- *Correção de imagens:* as imagens que vêm diretamente dos aparelhos de ressonância magnética em geral não estão preparadas para serem processadas. Existem vários *artifacts* que precisam ser eliminados, como é o caso das chamadas correntes parasitas [8]. Sem este pré-processamento, o resultado dos algoritmos seguintes pode ser comprometido.
- *Máscara do cérebro:* nem todos os píxeis de cada fatia devem ser considerados, mas apenas aqueles que fazem parte efetivamente do cérebro do paciente. Existem algoritmos de morfologia matemática [9] para encontrar uma máscara que, aplicada à imagem, elimina píxeis que não pertencem ao cérebro.
- *Cálculo de tensores:* a partir das imagens já tratadas pode-se calcular tensores para cada *voxel*

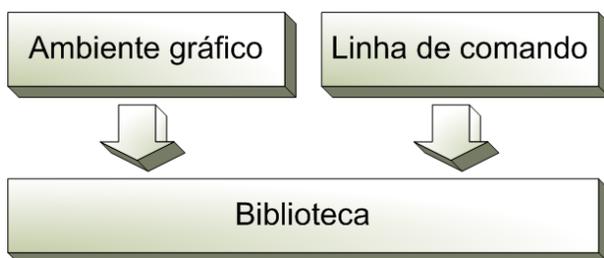


Figura 4: Arquitetura geral do *framework*.

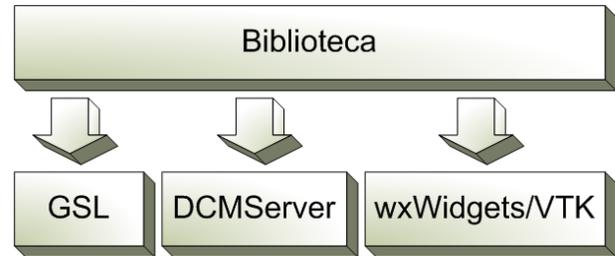


Figura 5: As principais dependências da biblioteca.

do volume; estes tensores indicam as direções principais do movimento da água no tecido analisado. Também é possível interpolar tensores em quaisquer pontos do espaço.

- *Cálculo de índices:* com os tensores calculados, é possível obter uma série de índices para visualização das imagens DTI, como a FA (anisotropia fracional). O produto final destes cálculos é tipicamente uma imagem que exhibe em cada píxel o índice em questão.

Outra função da biblioteca é facilitar a visualização de imagens (tanto imagens originais quanto resultados de processamentos posteriores). Esta função, contudo, é totalmente independente das demais: o usuário não precisa utilizá-la para carregar imagens ou executar algoritmos.

A biblioteca em si depende de outras bibliotecas de terceiros. Para a visualização, são utilizados os *toolkits* wxWidgets [10] e VTK [11]. Para a leitura de imagens, o projeto DCMServer [12] é utilizado. Por fim, a GSL (Biblioteca Científica GNU) [13] é usada como base matemática. Estas dependências podem ser visualizadas na Figura 5.

2.2 Ferramentas de linha de comando

Apoiadas sobre a biblioteca estão diversas ferramentas de linha de comando. Estas ferramentas permitem acesso aos algoritmos da biblioteca, ou seja, para cada algoritmo disponível na biblioteca existe um programa de linha de comando que pode ser chamado para executar o respectivo algoritmo.

2.3 Ambiente gráfico

O objetivo do ambiente gráfico é fornecer ao usuário um meio de explorar as funcionalidades do *framework*. Através deste ambiente, o usuário pode

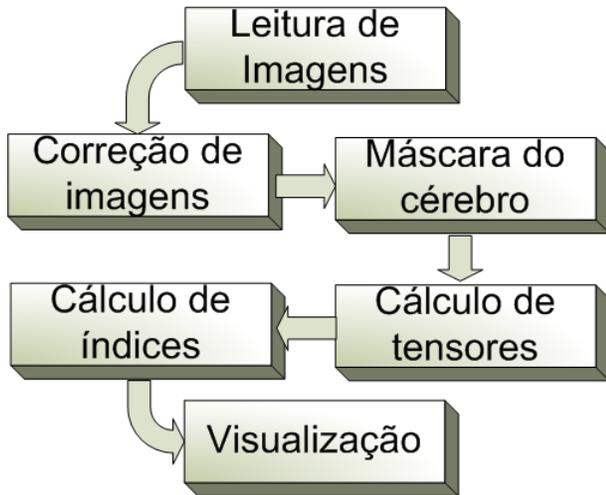


Figura 6: Exemplo de *pipeline* no ambiente gráfico.

executar os diversos algoritmos disponíveis sem precisar escrever programas.

Nas Figuras 6 e 7 estão ilustrados *pipelines* típicos do ambiente gráfico. As imagens são lidas e passam por todo um processo que resulta na visualização de um mapa de índices.

Não apenas os algoritmos disponíveis na biblioteca do *framework* podem ser usados como blocos no ambiente gráfico, mas também é possível que algoritmos externos sejam integrados através de duas formas: ferramentas de linha de comando e bibliotecas dinâmicas.

Ferramentas de linha de comando de terceiros podem ser utilizadas como blocos no ambiente gráfico. Para isso, o usuário deve configurar detalhadamente quais parâmetros estas ferramentas esperam e como se obtém o resultado de seu processamento.

Também é possível utilizar bibliotecas dinâmicas que seguem uma interface pré-determinada. A vantagem desta abordagem é

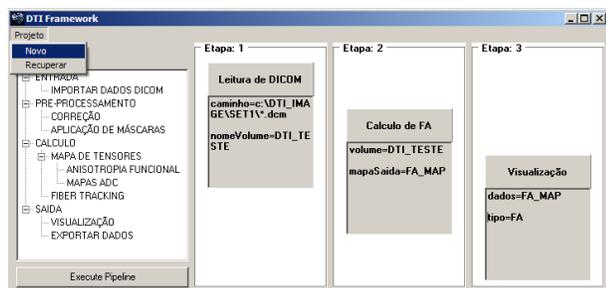


Figura 7: Tela do ambiente gráfico.

que o *overhead* existente no caso anterior desaparece. No entanto, estas bibliotecas precisam ser planejadas para serem integradas com o ambiente.

Uma funcionalidade que corrobora a característica exploratória do *framework* é a capacidade que ele tem de gerar código-fonte C++ para o diagrama de blocos visualizado. O código-fonte gerado depende somente da biblioteca do *framework*. Esta exportação nada mais é do que um meio de exemplificar ao usuário a utilização da biblioteca: todo o *pipeline* comandado pelo ambiente gráfico está disponível em código-fonte.

3 Resultados

O *framework* apresentado encontra-se em fase de desenvolvimento. No entanto, diversos de seus módulos já possuem versão estável, tal como o módulo referente à leitura e à interpretação de imagens DICOM DTI. A leitura de imagens em formato Analyze encontra-se em fase de testes. Vários ensaios de geração de mapas tractográficos já foram testados.

Parte do código já produzido encontra-se, no entanto, desenvolvido em Smalltalk, impondo assim uma etapa de trabalho adicional para a tradução deste para C++.

4 Discussão e Conclusões

A biblioteca é escrita em C++ e é extremamente portátil, bem como o são suas dependências. Um programa que utilize a biblioteca, portanto, pode ser facilmente multiplataforma. Com os diferentes meios de acesso às funcionalidades do *framework*, o usuário pode utilizá-lo de várias maneiras:

- Um servidor *web* pode beneficiar-se tanto das ferramentas de linha de comando ou da biblioteca para gerar dinamicamente análises de conjuntos de dados DTI.
- Aplicações *desktop* podem ser desenvolvidas aproveitando-se da parte de visualização e da parte algorítmica da biblioteca. Estas aplicações dependem apenas de si mesmas para serem portátil, já que a biblioteca subjacente já o é.
- As ferramentas de linha de comando podem ser integradas em ambientes de terceiros, pois freqüentemente os ambientes são configuráveis

e permitem ao usuário escrever seus próprios algoritmos.

- O uso do ambiente gráfico é uma forma de o usuário explorar as capacidades do *framework* sem ter de entrar em detalhes de programação; ele pode decidir se o *framework* lhe será útil ou não sem precisar programar.
- O *framework* proposto neste artigo livra o desenvolvedor de aplicações de DTI da carga de ter de implementar muitas funções complexas às quais não quer dar atenção. Quando estiver escrevendo seus algoritmos de tractografia, não terá de se preocupar com algoritmos secundários ou com leitura e gravação de imagens: estas funções já estão disponíveis no *framework*.

Referências

- [1] Basser PJ, Jones DK. Diffusion-tensor MRI: theory, experimental design and data analysis - a technical review. *NMR Biomed.* 2002;15(7-8):456–467.
- [2] LeBihan D, Mangin JF, Poupon C, Clark CA, Pappata S, Molko N, et al. Diffusion tensor imaging: concepts and applications. *J Magn Reson Imaging.* 2001;13(4):534–46.
- [3] Vilanova A, Zhang S, Kindlmann G, Laidlaw D. An Introduction to Visualization of Diffusion Tensor Imaging and its Applications. In: Weickert J, Hagen H, editors. *Visualization and Image Processing of Tensor Fields.* Springer Verlag; 2006. p. 121–153.
- [4] Dong Q, Welsh RC, Chenevert TL, Carlos RC, Maly-Sundgren P, Gomez-Hassan DM, et al. Clinical applications of diffusion tensor imaging. *J Magn Reson Imaging.* 2004;6(19):6–18.
- [5] Basser PJ, Mattiello J, LeBihan D. MR Diffusion Tensor Spectroscopy and Imaging. *Biophys J.* 1994;66(1):259–267.
- [6] American College of Radiology, National Electric Manufacturers Association. *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM): Version 3.0;* 2006. Available from: <http://medical.nema.org/>.
- [7] Mayo Software. *Analyze 7.5 File Format;* 1995. Available from: <http://www.mayo.edu/bir/PDF/ANALYZE75.pdf>.
- [8] Alexander AL, Tsuruda JS, Parker DL. Elimination of eddy current artifacts in diffusion-weighted echo-planar images: the use of bipolar gradients. *Magn Reson Med.* 1997;38(6):1016–1021.
- [9] Gonzalez RC, Woods RE. *Digital Image Processing.* Prentice Hall; 1992.
- [10] Csomor S, Smart J, Hock K. *Cross-Platform GUI Programming with wxWidgets.* Prentice Hall PTR; 2005.
- [11] Schroeder W, Martin K, Lorensen B. *The Visualization Toolkit: An Object-Oriented Approach To 3D Graphics.* Kitware Inc.; 2003.
- [12] Dellani PR. *Desenvolvimento de um Servidor de Imagens Médicas Digitais no Padrão DICOM.* Universidade Federal de Santa Catarina; 2001.
- [13] Galassi M, Davies J, Theiler J, Gough B, Jungman G, Booth M, et al. *GNU Scientific Library: Reference Manual.* 2nd ed. Lightning Source Inc.; 2003.

Contato

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Laboratório de Processamento de Imagens e
Computação Gráfica - LAPIX
The Cyclops Project
<http://cyclops.telemedicina.ufsc.br>
(48) 3338-8632

adiel@inf.ufsc.br
danielabdala@gmail.com
leandro.coser@gmail.com
awangenh@inf.ufsc.br
<http://www.inf.ufsc.br/~awangenh/>