

# Оценивание качества регистрации медицинских изображений

В. В. Вишнеvский

UniversitätsSpital Zürich  
valery.vishnviskiy@uzh.ch

October 31th, 2012

# Plan

## ① Введение в задачу регистрации изображений

Методы регистрации изображений

$T_\theta$

$\mathcal{M}$

min

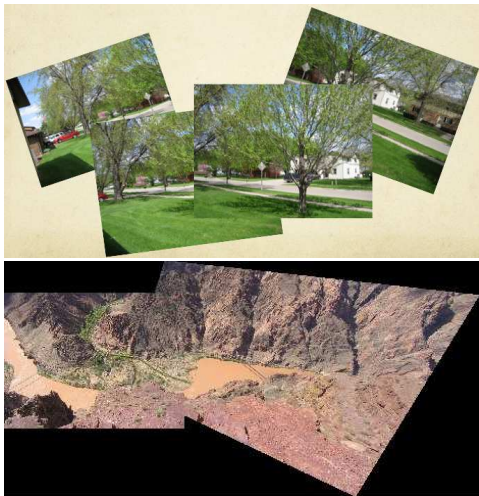
## ② Медицинская специфика

## ③ Оценка качества регистрации медицинских изображений

## Задача регистрации

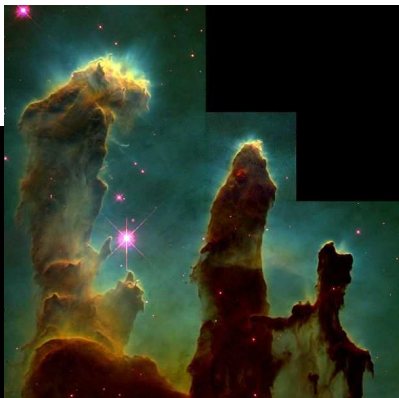
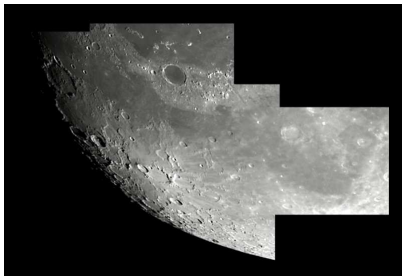
Регистрация изображений — определение соответствий между двумя изображениями.

## Создание панорам



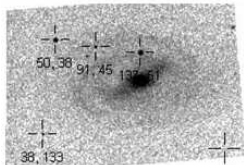
## Создание панорам

### Астрофотография



## Подавление шума

### Астрофотография



Single image showing 4 marked registration points. Note the low S/N of the single image. This image is registered but not combined.

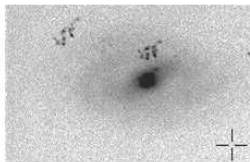
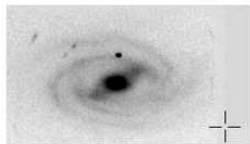
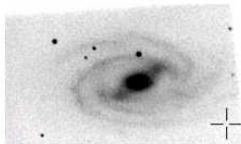


Image set combined without registration. There is little gain in S/N over that of 1 image because the unregistered features do not reinforce.



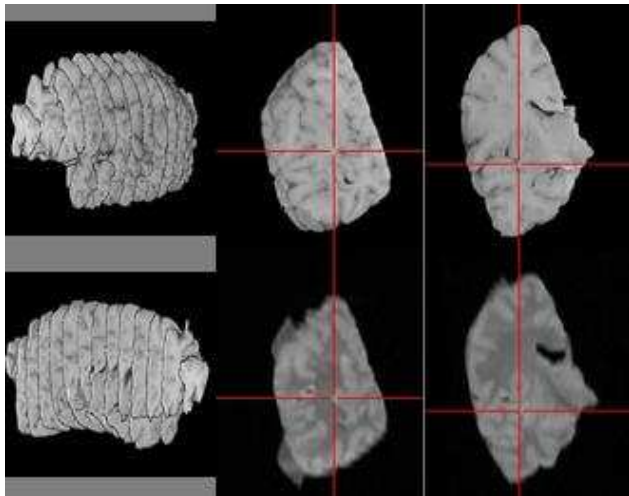
Combined image set after registration using the **Shift** method when the **Shear** method should have been used. Note residual field rotation among stars in the upper left part of the image.



Median combined image set showing good registration using the **Shear** method. Note the S/N improvement compared with the single image at the upper left.

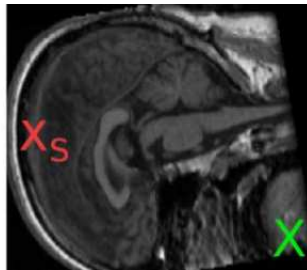
## Регистрация медицинских изображений

3D из 2D срезов



## Регистрация медицинских изображений

Анатомическая разметка





# Plan

## 1 Введение в задачу регистрации изображений

Методы регистрации изображений

$T_\theta$

$\mathcal{M}$

min

## 2 Медицинская специфика

## 3 Оценка качества регистрации медицинских изображений

## Постановка задачи

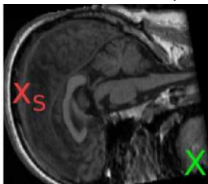
- $A$  — «атлас» и его сегментация  $A_S$ ,
- $X$  — изображение(target). Найти его разметку  $X_S$ .

Найти пространственное преобразование(деформацию, трансформацию):  $\hat{T}_{AX}: A \rightarrow X$ .

Определяем класс преобразований и минимизируем невязку  $\mathcal{M}$  между изображениями:

$$\hat{T}_{AX} = \underset{T_\theta}{\text{arg min}} \mathcal{M}(T_\theta(A), X)$$

Находим сегментацию  $X$ :  $\hat{X}_S = \hat{T}_{AX}(A_S)$ .



## Основные шаги

- $T_\theta$  — класс пространственных трансформаций,
- $\mathcal{M}$  — метрика между изображениями,
- $\min$  — метод оптимизации.

# Plan

## ① Введение в задачу регистрации изображений

Методы регистрации изображений

$T_\theta$

$\mathcal{M}$

min

## ② Медицинская специфика

## ③ Оценка качества регистрации медицинских изображений

## Классы трансформаций

- Жесткие(rigid),
- перенос + вращение + масштабирование(rigid + scale),
- аффинные,
- нелинейные(deformable).

Piecewise affine, piecewise rigid...

## Нелинейные деформации

- Radial Basis Functions;
- Free Form Deformations(splines);
- Displacement fields, induced by physical models.

Регуляризация.

## Важные свойства трансформаций

- Обратимость,
- симметричность,
- сохранение топологии(структуры),
- гладкость.

# Plan

## ① Введение в задачу регистрации изображений

Методы регистрации изображений

$T_\theta$

$\mathcal{M}$

min

## ② Медицинская специфика

## ③ Оценка качества регистрации медицинских изображений



## Особые точки (Geometric methods)

- Ручное задание точечных соответствий (landmarks).
- Определение точек и соответствий.
- Определение только особых точек (облако точек).

Rigid registration + landmarks — Orthogonal Procrustes problem.

Affine registration + landmarks — Fast algorithm (Jeffrey Ho, Ming-Hsuan Yang).

## Попиксельные методы (Iconic methods)

$$\mathcal{M}(A, X) = \int_{\Omega_X} \rho(A(T(p)), X(p)) dp$$

- Mean Squares:  $\mathcal{M}_{MS}(A, X) = \frac{1}{N} \sum (A_i - X_i)^2$ .
- NCC:  $\mathcal{M}_{NCC}(A, X) = -\frac{\sum A_i X_i}{\sqrt{\sum A_i^2 \sum X_i^2}}$ .
- Mutual Information:  $\mathcal{M}_{MI}(A, X) = H(A) + H(X) - H(A, X)$ .

## Типы изображений

Mono-modal, multi-modal.

- Использовать подходящую метрику.
- Предобработка изображений (выделение краев, эквализация...)
- Сведение к одной модальности к другой.
- Машинное обучение.

Возможное комбинирование Geometric and Iconic methods.

# Plan

## ① Введение в задачу регистрации изображений

Методы регистрации изображений

$T_\theta$

$\mathcal{M}$

**min**

## ② Медицинская специфика

## ③ Оценка качества регистрации медицинских изображений

# Оптимизация

- Непрерывная,
- дискретная.

## Медицинская специфика

- Разные модальности.
- Уверенность в результате.
- Работа в реальном времени.
- Регистрация 2D в 3D.
- Регистрация мембран.

## Несколько атласов

- Выбор лучшего набора атласов.
- Многоатласная сегментация, atlas fusion.
- Atlas propogation.

## Инструменты

- ITK(Insight Tool Kit).
- Matlab.
- Demons registration.
- ...



## Качество регистрации

Если  $X_S$  известна (ground truth).

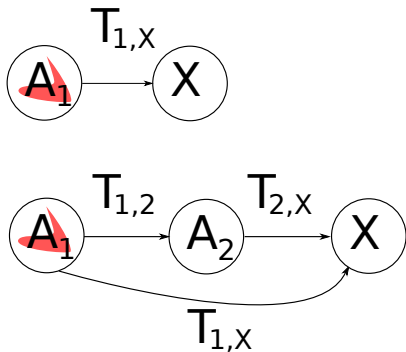
- Dice's coefficient  $Dice(A_S, X_S) = 2 \frac{|A_S \cap X_S|}{|A_S| + |X_S|}$ .
- Hausdorff distance  $H(A_S, X_S) = \max(h(A_S, X_S), h(X_S, A_S))$ ,  
 $h(A_S, X_S) = \max_{a \in A_S} \min_{x \in X_S} \|a - x\|$ .

Если  $X_S$  не известна, то используют остаточное значение меры (невязку).

$$\mathcal{M}(\hat{T}_{AX}(A), X).$$

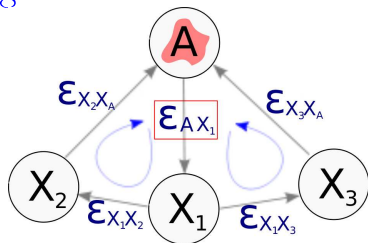
Например, residual mutual information.

## Два атласа



- $T_{1,2} \circ T_{2,X} \ ? \ T_{1,X}$ .
- $Dice(A_{2S}, T_{1,2}(A_{1S})) + Dice(X_S, T_{2,X}(A_{2S})) \ ? \ Dice(X_S, T_{1,X}(A_{1S}))$ .
- $d_{1,3} = \frac{d_{1,2} + d_{2,3}}{2}$ .
- $d_{1,3} = d_{1,2} \cdot d_{2,3}$ .

## Registration circuits



- Предполагаем что ошибки аддитивны (или мультипликативны),
- вычислить деформации и Dice по всем циклам:

$$\epsilon_{A X_1} + \epsilon_{X_1 X_3} + \epsilon_{X_3 A} = 3Dice(A_S, T_{A X_1}(T_{X_1 X_3}(T_{X_3 A}(A_S))))$$

...

или

$$\epsilon_{A X_1} \cdot \epsilon_{X_1 X_3} \cdot \epsilon_{X_3 A} = Dice(A_S, T_{A X_1}(T_{X_1 X_3}(T_{X_3 A}(A_S))))$$

...

- Решаем систему уравнений.

## Оптимизация

$$\min \|x\|_2$$

$$x = \begin{pmatrix} \varepsilon_{i_1} + \varepsilon_{j_1} + \varepsilon_{k_1} - D_{i_1 j_1 k_1} \\ \vdots \\ \varepsilon_{i_C} + \varepsilon_{j_C} + \varepsilon_{k_C} - D_{i_C j_C k_C} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$N$  изображений, из них  $K$  атласов. Тогда  $E = N(N - 1)$  — число ребер (неизвестных).  $C = K(N - 1)(N - 2)$  — число направленных циклов длины 3 (количество уравнений).

$\varepsilon \in \mathbb{R}^{E \times 1}$ ,  $P \in \{0, 1\}^{C \times E}$ .

$$\min \|P\varepsilon - E\|_2$$

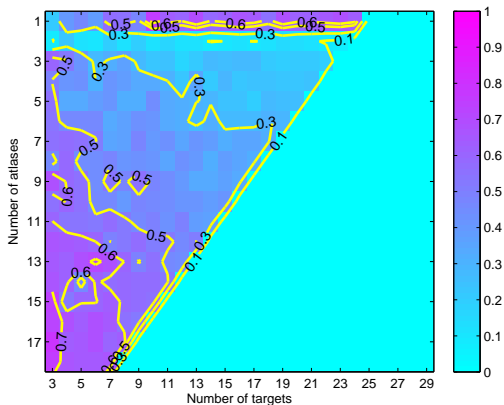
$$\text{s.t. } 0 \leq \varepsilon \leq 1. \quad (2)$$

## Мультипликативная ошибка

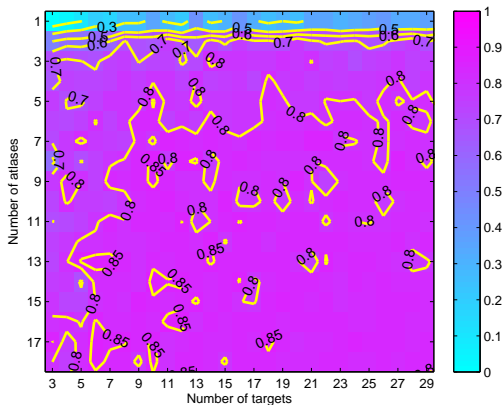
$$\begin{aligned} & \min \|x\|_2 \\ x = & \begin{pmatrix} \log \varepsilon_{i_1} + \log \varepsilon_{j_1} + \log \varepsilon_{k_1} - \log D_{i_1 j_1 k_1} \\ \vdots \\ \log \varepsilon_{i_c} + \log \varepsilon_{j_c} + \log \varepsilon_{k_c} - \log D_{i_c j_c k_c} \end{pmatrix}, \\ & s.t. \ 0 < \varepsilon_p \leq 1, \ p = 1, \dots, E. \end{aligned} \quad (3)$$

Матрица  $P$  разреженная. lsqlin.

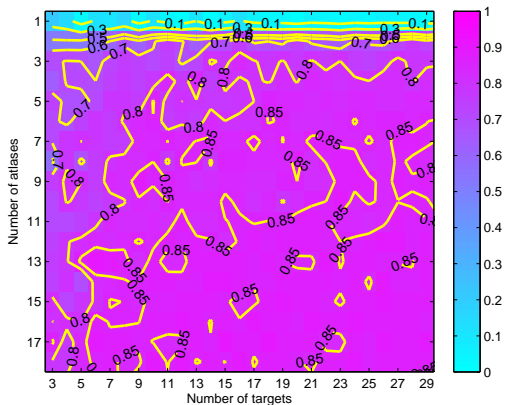
## Results. Без регуляризации, pinv



## Results. Аддитивная модель



## Results. Мультипликативная модель





## Results

- Классификация: прошла/не прошла регистрация. ROC.
- Зависимость от данных.
- Применение для регистрации.