

医学成像配准介绍

田捷

2004.10.

概要

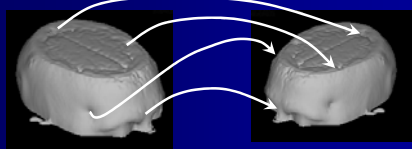
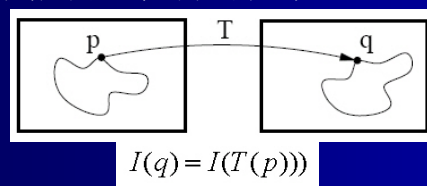
- 介绍
- 配准方法
- 配准框架
 - 模块综述
- 基于大脑的PET和MR图像快速和鲁棒配准 (NeuroImage 2004)

概要

- 介绍
- 配准方法
- 配准框架
 - 模块综述
- 基于大脑的PET和MR图像快速和鲁棒配准 (NeuroImage 2004)

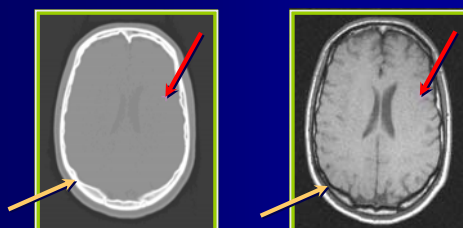
什么是图像配准?

- 医学图像配准是指对于一幅图像寻求一种空间变换, 使该图像与另一幅医学图像中的对应点达到空间上的一致。



(Fitzpatrick 2003)

确定同一对象的不同视图中的对应点



(Fitzpatrick 2003)

分类 & 应用

- 医学图像配准有许多临床和研究应用
 - 同一 / 不同 对象的配准
 - 单/多模配准
- 可以从不同图像的模式中得到相关信息
- 图谱分割
- 观察病情的改善，治疗的进展等

概要

- 介绍
- 配准方法
- 配准框架
 - 模块综述
- 基大脑的PET和MR图像快速和鲁棒配准 (NeuroImage 2004)

配准方法

- 点方法
- 分割方法
- 体素方法

基于点的配准方法

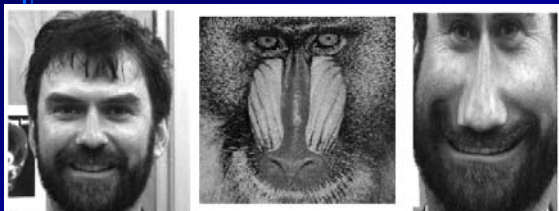
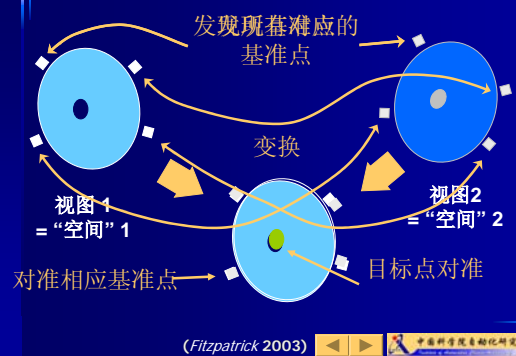
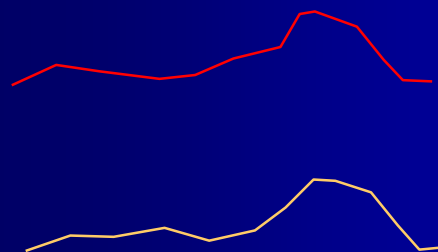


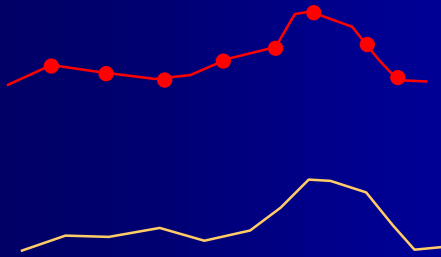
Figure 4: An example of inter-individual non-rigid registration (in 2D) of a professor (left) to a mandrill (centre), resulting in the warped image (right). The transformation was achieved by identifying a number of corresponding point landmarks and transforming with the thin plate spline function described in chapter 3.

分割法

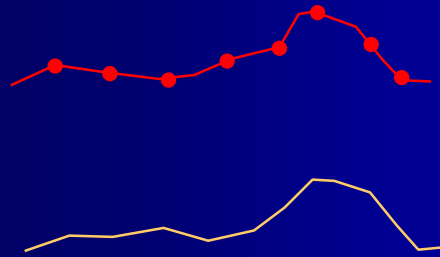


(Fitzpatrick 2003)

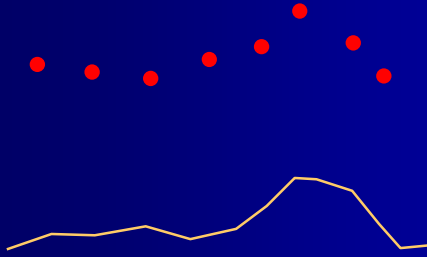
迭代最近点算法



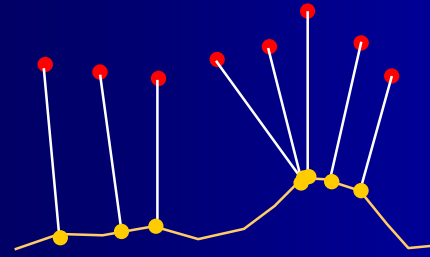
在待配准的表面上选点
(Fitzpatrick 2003)



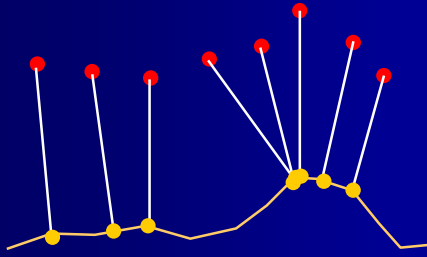
移去待配准表面
(Fitzpatrick 2003)



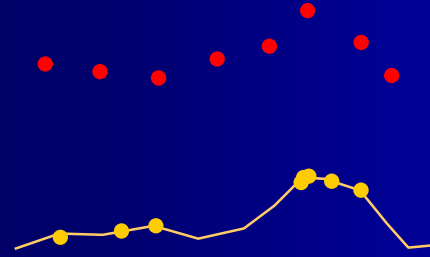
表面由所选点代表
(Fitzpatrick 2003)



在参考平面上找到相应的最近点
(Fitzpatrick 2003)

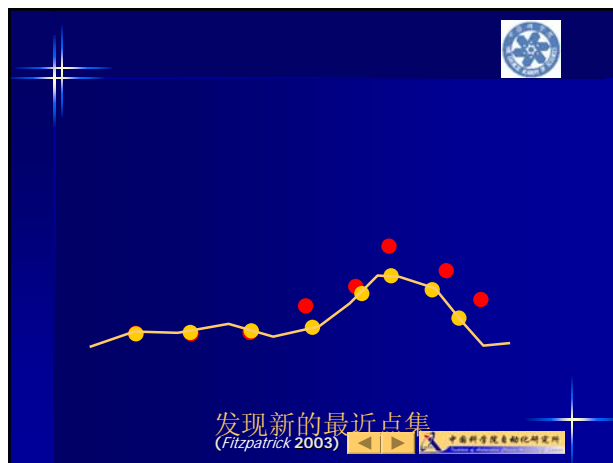
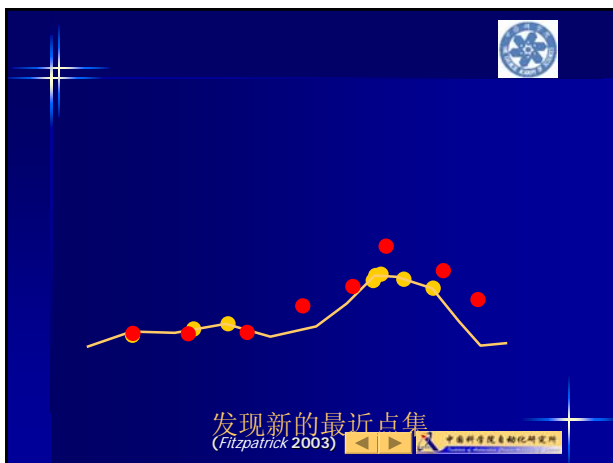
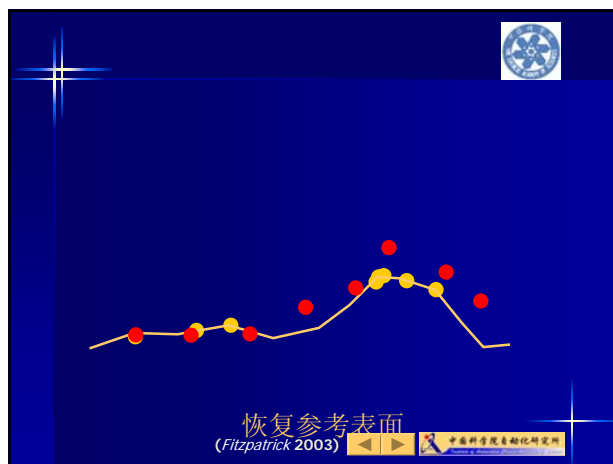
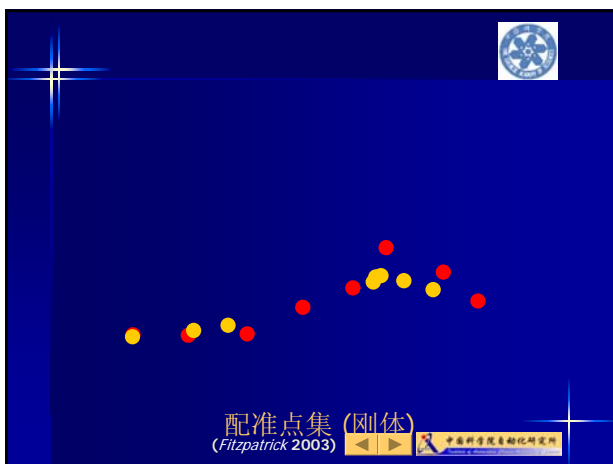
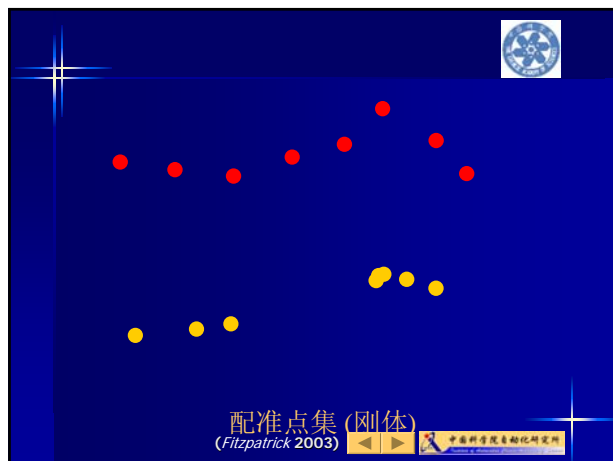
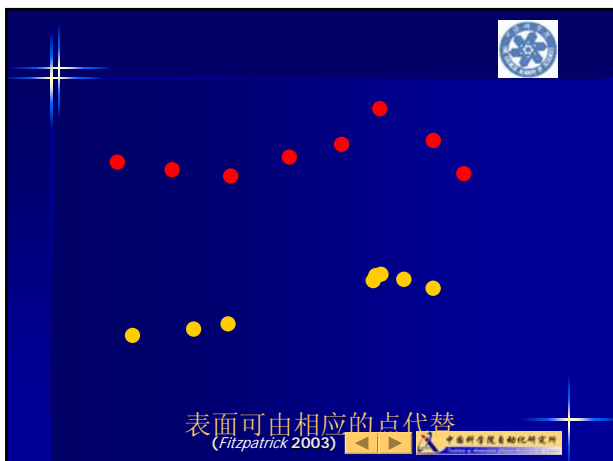


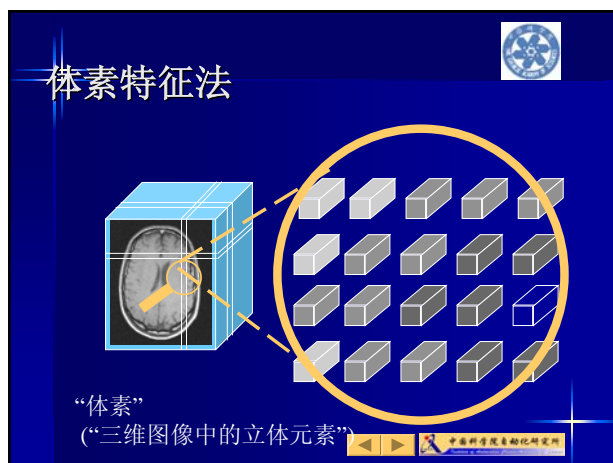
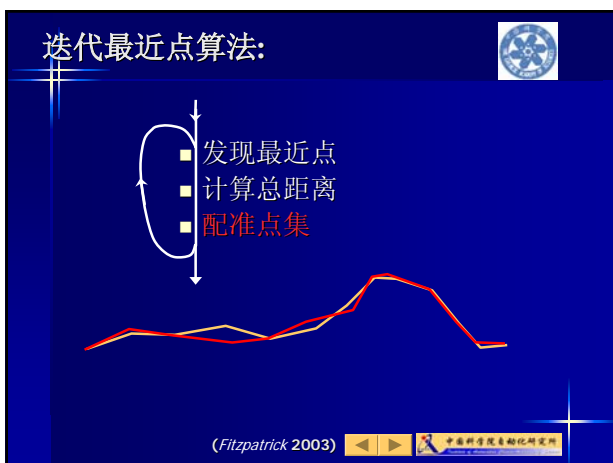
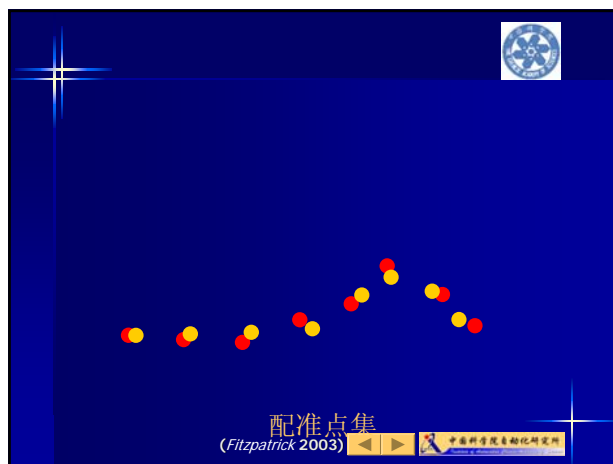
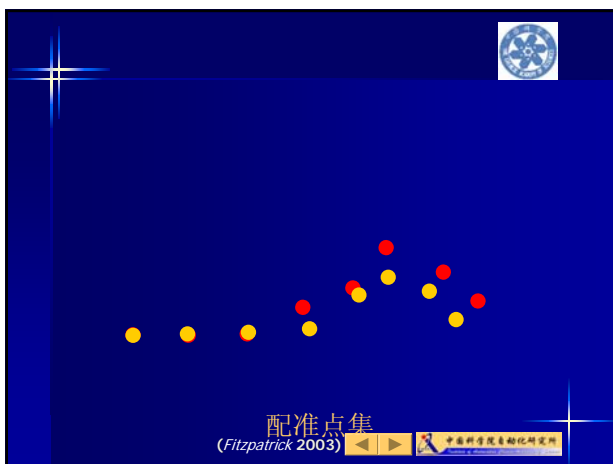
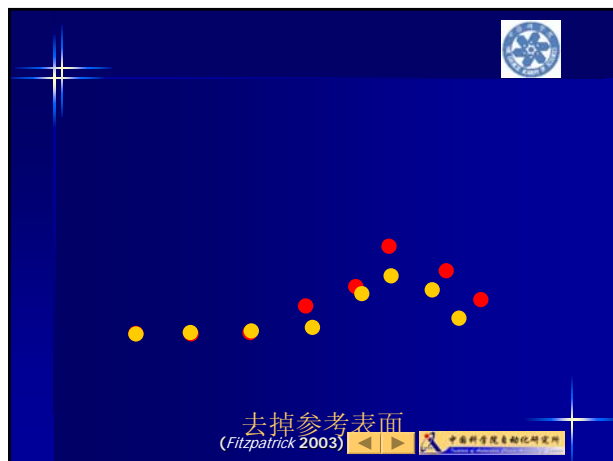
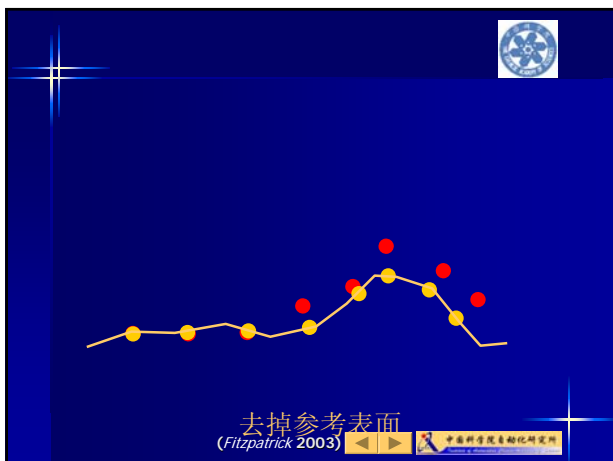
计算总的距离
(Fitzpatrick 2003)



去掉参考表面
(Fitzpatrick 2003)







体素特征法

- 三维图像中的每个体素对应一个相应的坐标和体素强度值。
- 基于体素特征的方法就是将三维图像A（参考图）中的每个体素的坐标与三维图像B（浮动图）中的每个体素的坐标通过变换T建立映射关系,以达到两个图形的配准。

$$X_a = T(X_b)$$

体素特征法

例如：对于刚体变换， M_t 坐标表示平移， M_r 坐标表示旋转

$$X_a = M_t M_r X_b$$

在这个例子中 $T = M_t M_r$ ，即浮动图B中的体素坐标经过一定角度的旋转和一定量的位移后对应到参考图A上。

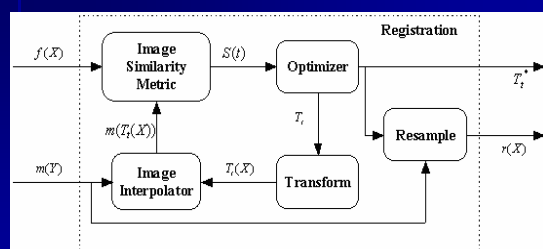
体素特征法

- 理论上，这种方法是最灵活的，因为它利用了图像中的所有信息而不象上两类方法中需要事先进行数据缩减或分割以提取出少量信息。
- 发展历史较长，但在三维中一直受到大运算量的限制。

概要

- 介绍
- 配准方法
- 配准框架
 - 模块综述
- 大脑PET和MR图像的快速和鲁棒配准 (NeuroImage 2004)

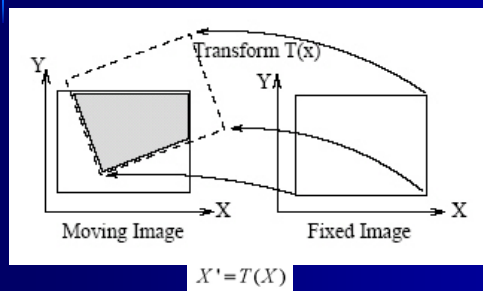
配准框架



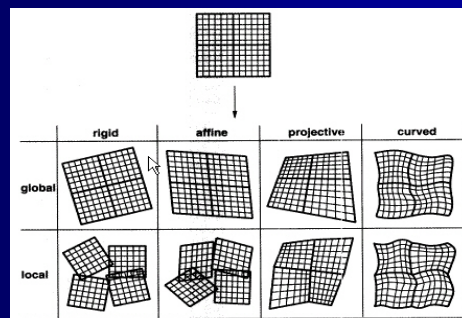
步骤

- 空间转换
 - 实现从一幅图像到另一幅图像的映射
- 图像插值
 - 确定不在网格位置上的点的灰度值
- 相似性测度 (配准标准)
 - 对“完美匹配”进行定量分析
- 优化算法
 - 优化变换参数

空间变换



中国科学院自动化研究所



中国科学院自动化研究所

刚体变换

参数:

$$p = (\theta_x, \theta_y, \theta_z, t_x, t_y, t_z)$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = T_{\text{rigid}} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{\text{rigid}} = \begin{pmatrix} \cos \theta_x \cos \theta_z & \cos \theta_x \sin \theta_z + \sin \theta_x \sin \theta_y \cos \theta_z & \sin \theta_x \sin \theta_z - \cos \theta_x \sin \theta_y \cos \theta_z & t_x \\ \cos \theta_y \sin \theta_z & \cos \theta_y \cos \theta_z - \sin \theta_y \sin \theta_x \cos \theta_z & \sin \theta_y \cos \theta_z + \cos \theta_y \sin \theta_x \cos \theta_z & t_y \\ \sin \theta_y & -\sin \theta_x \cos \theta_y & \cos \theta_x \cos \theta_y & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

中国科学院自动化研究所

仿射变换

参数:

$$p = (a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{31}, a_{32}, a_{33}, t_x, t_y, t_z)$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = T_{\text{affine}} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{\text{affine}} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & t_y \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

中国科学院自动化研究所

非刚体变换

样条函数

- 薄板样条
- B-样条
-

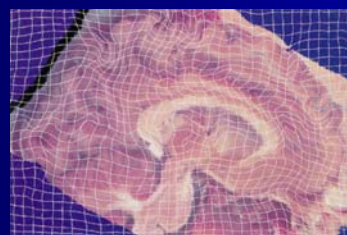
$$T = T_{\text{global}} + T_{\text{local}}$$

T_{global} : Rigid/Affine transformation ($T_{\text{rigid}}/T_{\text{affine}}$)

T_{local} : Non-rigid transformation

中国科学院自动化研究所

非刚体变换会十分复杂!



(Thompson, 1996)

中国科学院自动化研究所

图像插值

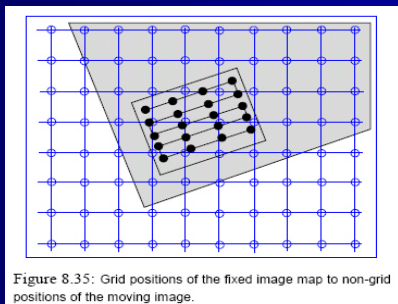
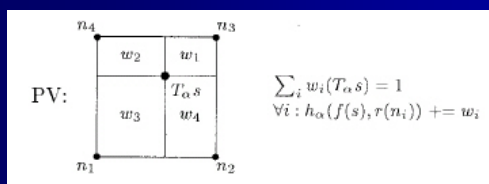


Figure 8.35: Grid positions of the fixed image map to non-grid positions of the moving image.

- 最近邻插值
- 线性插值
- B-样条插值
- PV (Partial Volume) 插值

PV 插值



相似性测度

- 均方值测度

$$MS(A, B) = \frac{1}{N} \sum_i (A_i - B_i)^2$$

- 归一化相关性测度

$$NC(A, B) = \frac{\sum_i (A_i \cdot B_i)}{\sqrt{\sum_i A_i^2 \cdot \sum_i B_i^2}}$$

- 互信息测度

互信息测度

$$H(A) = -\int p_A(a) \log p_A(a) da$$

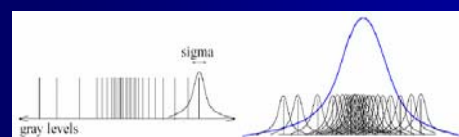
$$H(A, B) = -\int p_{A,B}(a, b) \log p_{A,B}(a, b) dadb$$

$$I(A, B) = H(A) + H(B) - H(A, B)$$

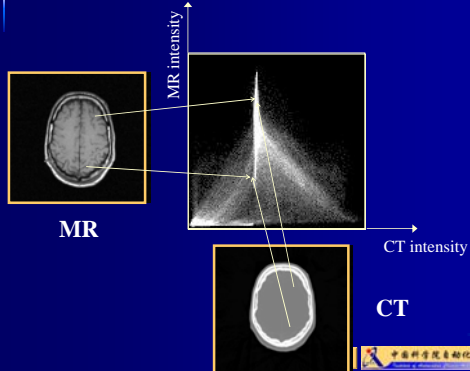
$$NMI(A, B) = \frac{H(A) + H(B)}{H(A, B)}$$

概率密度估计

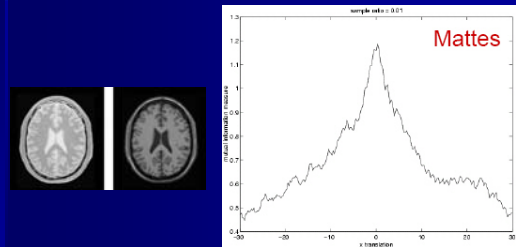
- 两幅图像重叠部分的联合和部分直方图的归一化
- Parzen 窗



2维灰度值直方图 (Hill94)



互信息测度



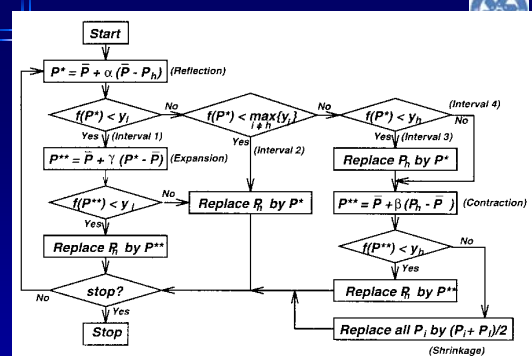
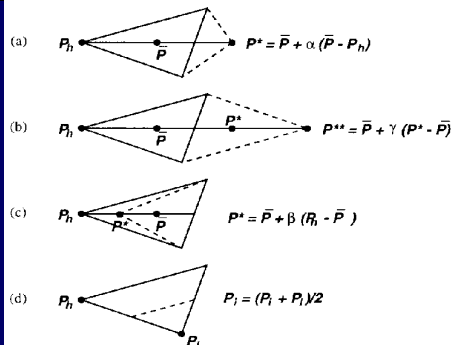
优化

- 可以通过数学优化实现
- 配准方法: n-维函数, 其中n为变换的自由度
- 通常不是平滑函数
- 含有许多局部极值

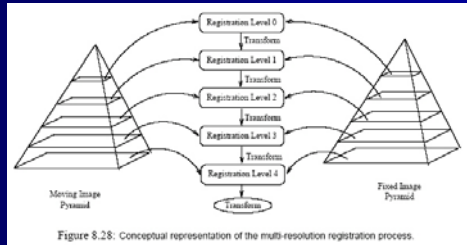
优化算法

- Downhill simplex 优化(amoeba)
- Powell's 算法
- Genetic 算法
-

Amoeba



多分辨率 (多比例尺度)



概要

- 介绍
- 配准方法
- 配准框架
 - 模块综述
- 大脑PET和MR图像的快速和鲁棒配准 (NeuroImage 2004)

NeuroImage 论文

Fast and robust registration of PET and MR images of human brain

Jiří Čížek,^{a,b} Karl Herholz,^{a,c,*} Stefan Vollmar,^a Rainer Schrader,^b Johannes Klein,^{a,c} and Wolf-Dieter Heiss^{a,c}

^aMax-Planck-Institute for Neurological Research, 50931 Cologne, Germany

^bCenter for Applied Computer Science, University of Cologne, 50923 Cologne, Germany

^cDepartment of Neurology, University of Cologne, Joseph-Stelzmann-Str. 9, 50931 Cologne, Germany

Received 21 October 2003; revised 13 January 2004; accepted 15 January 2004

资源和方法

- PET
- MR
- 相似性测度: 互信息
- 优化方法: downhill simplex
- 多分辨率方法: 再采样
 - 三种标准: [4,4,1],[2,2,1],[1,1,1]

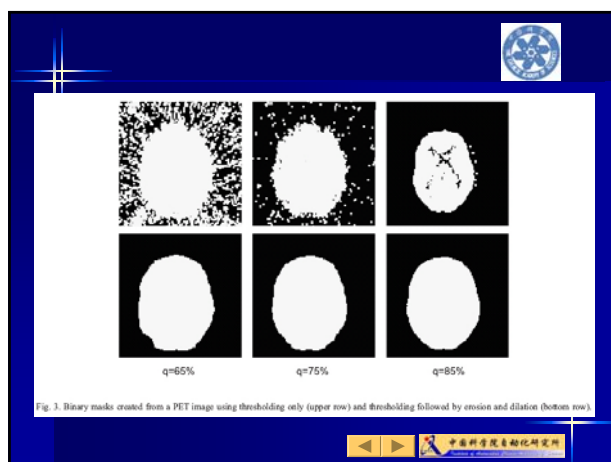
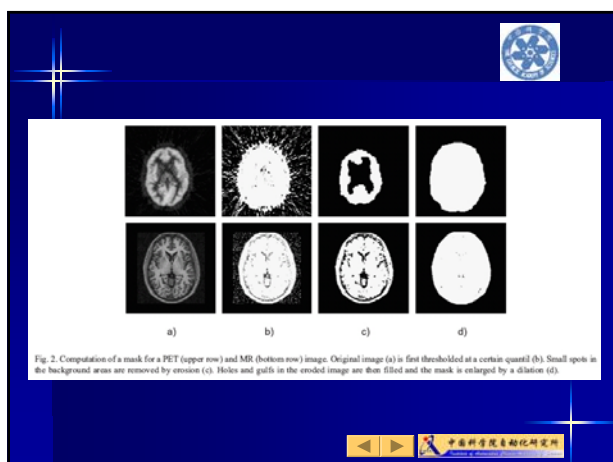
预处理

去处噪声

- 门限处理和形态学操作
- 脑图像的提取

门限处理

- 比率 q : 背景与整个图像的像素比
- 对于给定的扫描图像, q 变化不大
- 使用一系列三维二值形态学操作“净化”背景区域并填补感兴趣区的“洞”
- 进行腐蚀和膨胀操作



脑图像的提取

- 可以利用 Brain Extraction Tool (BET) 。
- BET 可以利用表面模型的方法在较短的时间内 (大约15-35 s) 进行脑图像提取。

试验

Table 1
Mean computational times and speed-up factors of registrations of simulated images

	NOPREP	QMPET	QMMR	QM	BET	BETQM
<i>Full-resolution</i>						
Preprocessing (s)	0.00	3.69	7.45	11.14	32.23	36.01
Optimization (s)	482.36	184.09	370.29	188.61	231.98	154.84
Total time (s)	482.36	187.78	377.74	199.75	264.21	190.85
Speed-up factor	1.00	2.57	1.28	2.41	1.83	2.53
<i>Low-resolution</i>						
Preprocessing (s)	0.00	3.69	7.45	11.14	32.23	36.01
Optimization (s)	133.72	51.80	100.82	53.94	60.56	40.90
Total time (s)	133.72	55.49	108.27	65.07	92.79	76.90
Speed-up factor	1.00	2.41	1.24	2.05	1.44	1.74
	(3.61)	(8.70)	(4.46)	(7.41)	(5.20)	(6.27)

The speed-up factors related to the average time of the full-resolution NOPREP registrations are in brackets.

Table 2
Number of failed registrations for each type of preprocessing

	NOPREP	QMPET	QMMR	QM	BET	BETQM
Total	150	150	150	150	150	150
<i>Full-resolution</i>						
Failed	52	68	27	4	0	5
%	35	48	18	3	0	4
<i>Low-resolution</i>						
Failed	56	72	28	4	0	6
%	37	45	19	3	0	4

Table 3
Mean registration errors over all successful registrations

	NOPREP	QMPET	QMMR	QM	BET	BETQM
<i>Full-resolution</i>						
$E\{A_E\}$ (mm)	0.71	0.52	0.48	0.47	0.30	0.29
$\max\{A_{\max}\}$ (mm)	1.26	0.94	0.84	0.62	0.53	0.51
<i>Low-resolution</i>						
$E\{A_E\}$ (mm)	0.82	0.59	0.51	0.50	0.36	0.34
$\max\{A_{\max}\}$ (mm)	1.91	1.70	1.90	1.49	0.68	0.78

