

使用SPM12进行MRI图像配准

Alex / 2020-11-22 / free_learner@163.com / learning-archive.org

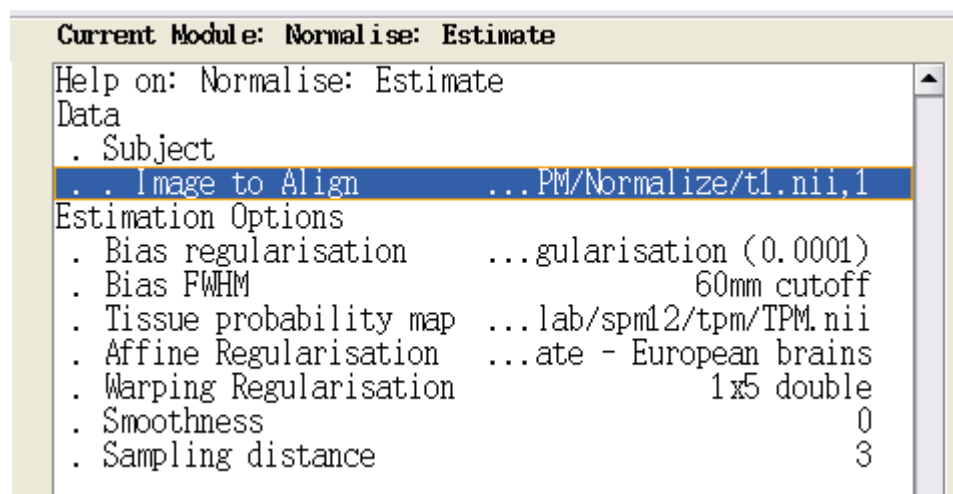
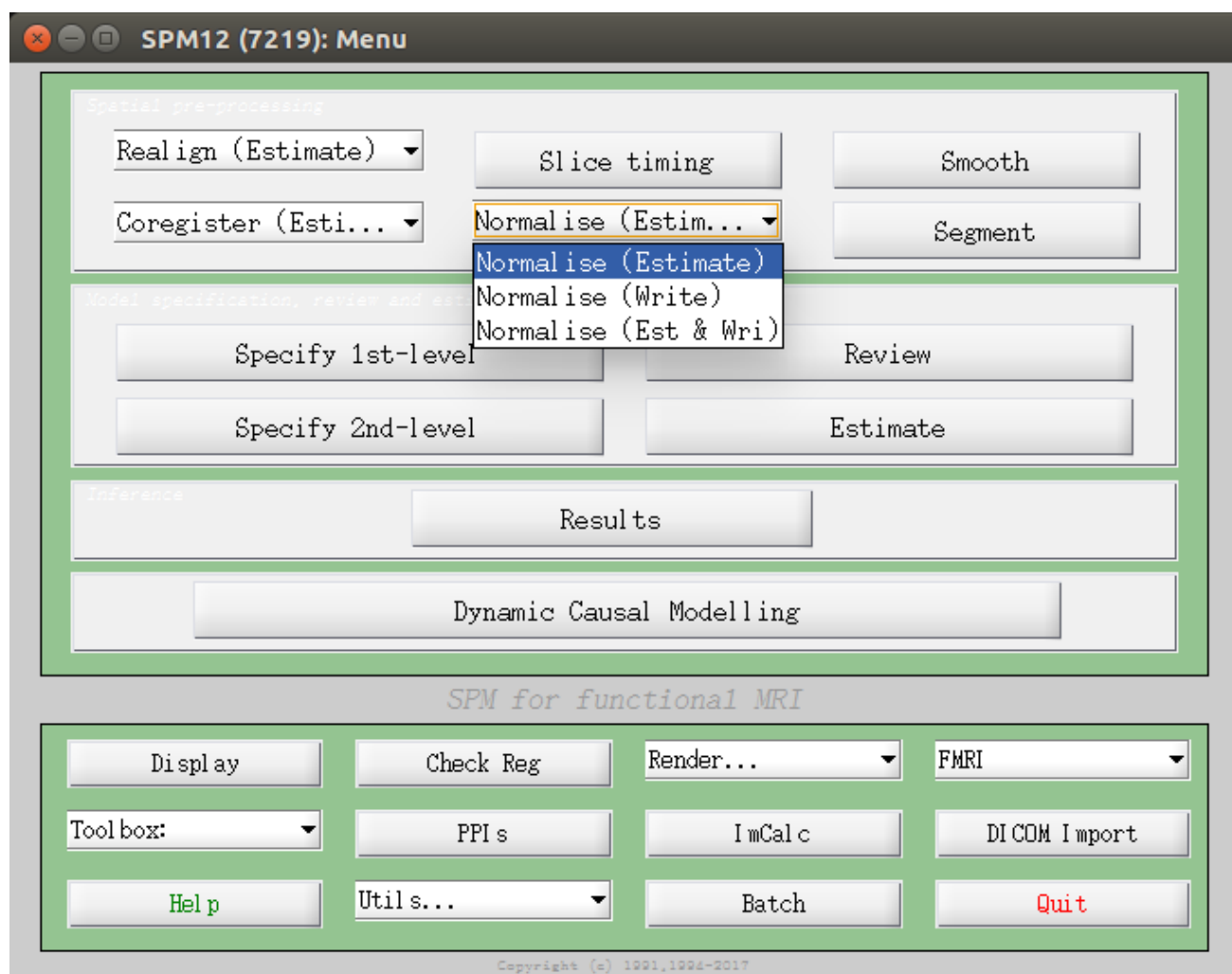
更新于2023-09-13，主要是文字排版上的更新，内容基本保持不变。

一、基本概念

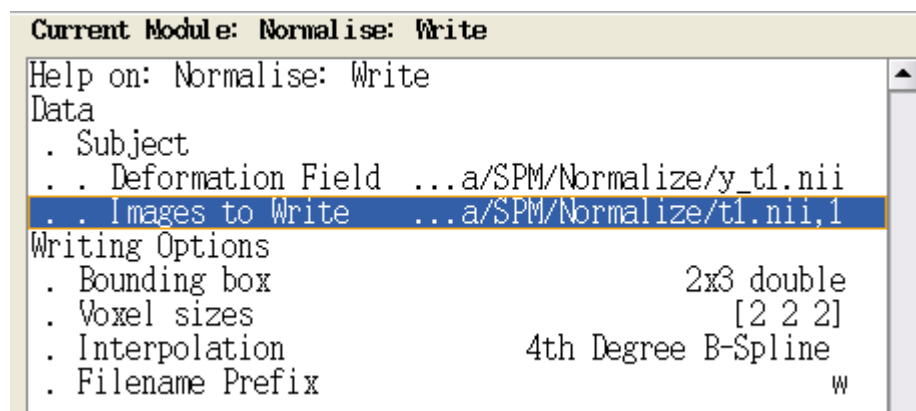
图像配准就是将两个形状不同的大脑图像变得形状相似。原理上，图像配准的过程就是保持一个图像不变（称为fixed image、target image或reference image），对另一个图像进行变换（称为moving image或source image），使得变换后的moving image与fixed image尽可能相似。变换分为线性和非线性两种，线性一般又分为刚体变换和仿射变换。刚体变换只有平移和转动两种方式，共6个自由度，即在X/Y/Z方向上的移动以及以X/Y/Z为轴的转动，亦即刚体变换没有改变图像的形状，只是改变了图像的位置。仿射变换在刚体变换的基础上增加了缩放（scaling）和剪切（shearing），包含12个自由度，仿射变换改变了图像的整体形状。相比于线性变换，非线性变换采用更复杂的变换形式，使得图像在局部形状上相似。在实际操作中，图像配准会涉及两个过程，一个是估计变换（estimate transformation），即估计moving image到fixed image的变换关系。线性变换的结果是一个4x4的矩阵，而非线性变换的结果是一个变换场图像，表示每一个体素位置的变换关系；另一个是应用变换（apply transformation），即将一个图像根据估计得到的变换关系进行变换。之所以有这样的区分，是因为用于估计变换的图像不一定是应用变换的图像，将fMRI配准到MNI模板就是这样一个例子。还有一个常用概念是乔可比矩阵的行列式（Determinant of Jacobian Matrix），它表示变换前后图像体积的变化，可以根据变换矩阵或变换场计算得到，乔可比矩阵行列式大于1表示moving image变换后体积缩小。以上对于图像配准的理解是非常粗浅的，请谨慎参考。

二、将T1结构像配准到MNI模板

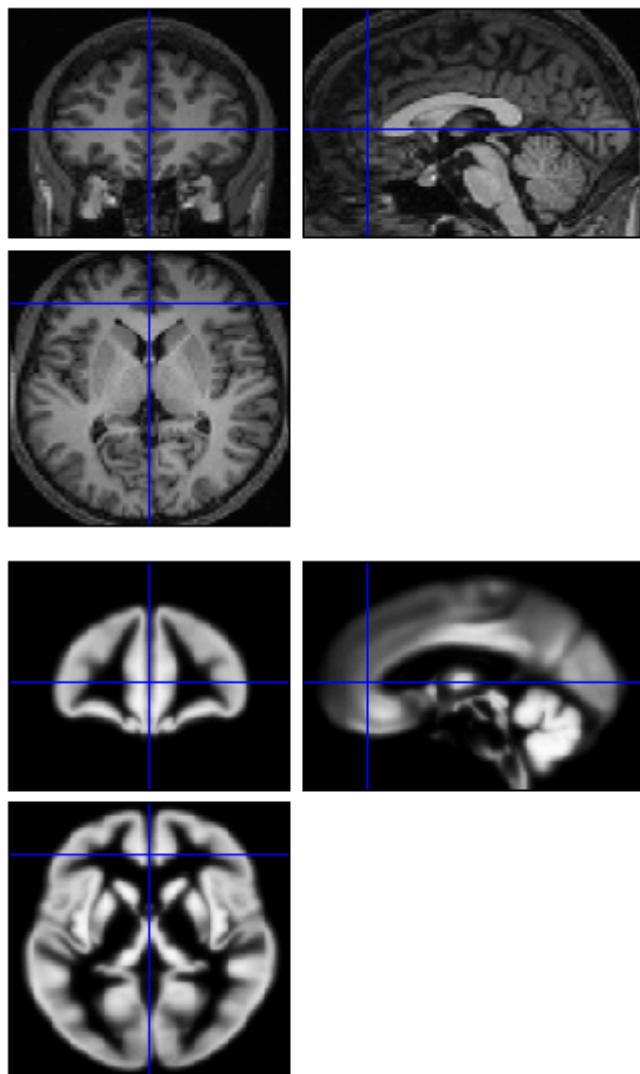
1. 估计变换：选择SPM12的Normalize模块的Estimate选项，在弹出的窗口中Image to Align处选择T1图像，其他可以保持默认设置。运行结束后生成 `y_*.nii` 文件，这个文件包含了从T1到MNI模板的变换关系（变换后的坐标位置）。



- 应用变换：选择Normalize模块的Write选项，在弹出的窗口中Data选项处添加被试，在Deformation Field处选择上一步得到的 `y_*.nii` 文件，在Image to Write处选择T1图像，其他可以保持不变。默认分辨率是 `[2 2 2]`，如果觉得分辨率太低，也可以改成 `[1 1 1]`。运行结束后生成 `w*.nii` 文件，这个文件表示转换到MNI模板空间以后的T1结构像。



3. 检查配准质量：选择SPM12的Check Reg模块，在弹出的窗口中选择变换后的T1图像（w*.nii）和MNI模板文件（SPM12安装目录下的tpm/TMP.nii文件），检查配准后的T1图像是否与模板文件在解剖位置上是否很好地对应。



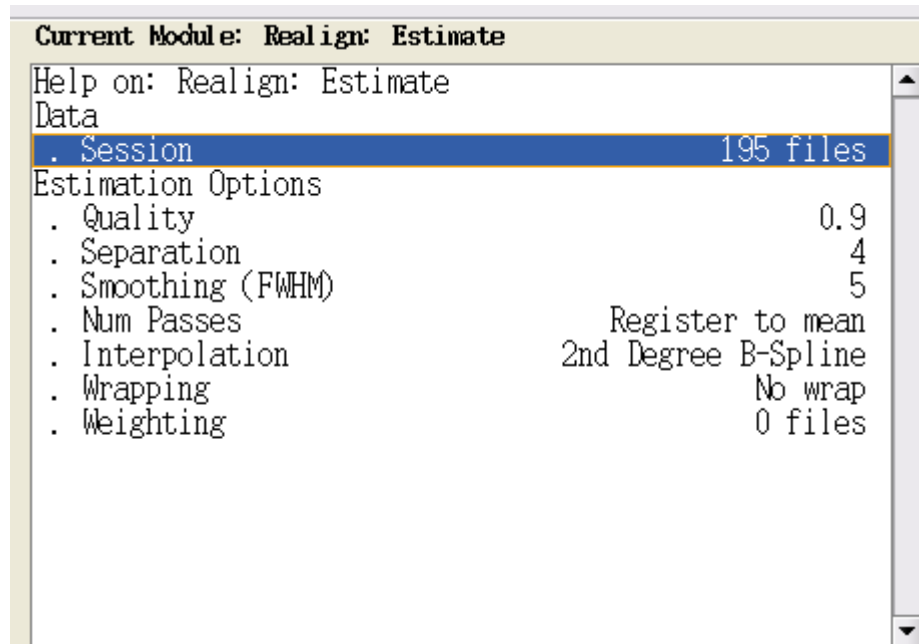
4. SPM12的Normalize模块的思路是，先将T1图像进行组织分割，然后将分割后的不同组织分别与模板（模板也是分为不同的组织）进行配准，这两个步骤是同时进行的，称为Unified Segmentation，和Segment模块是完全一样的，只是在结果输出上不同。

5. MNI模板很多，那么SPM12的MNI模板是什么模板呢？现在SPM12（版本7219）的模板是基于549个被试的T2/PD图像得到的，所以不是我们常见的MNI 152（也叫ICBM152）。更详细信息参见SPM12目录下的 `spm_templates.man` 文件。

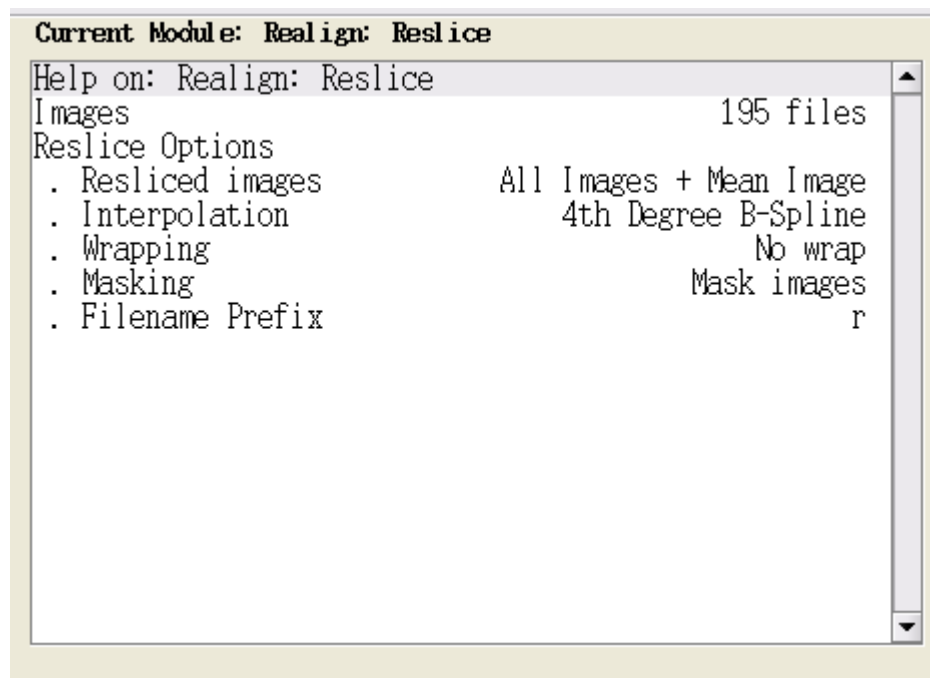
三、将fMRI功能像配准到MNI模板

1. 头动校正：由于fMRI图像是4D图像，3D空间加上一个时间维度。由于头动，每个3D图像不是完全对齐的，因此，需要进行头动校正。

估计变换：选择SPM12的Realign模块的Estimate选项，在Data处选择fMRI图像（注意要选择所有的3D图像，SPM12默认是读取第一个图像），其他选项默认设置即可。运行结束后生成 `*.mat` 文件，表示刚体变换的矩阵，这个信息也写到了fMRI文件的头信息里；生成 `rp_*.txt` 表示6个头动参数；生成 `spm_*.ps` 文件是6个头动参数的可视化。

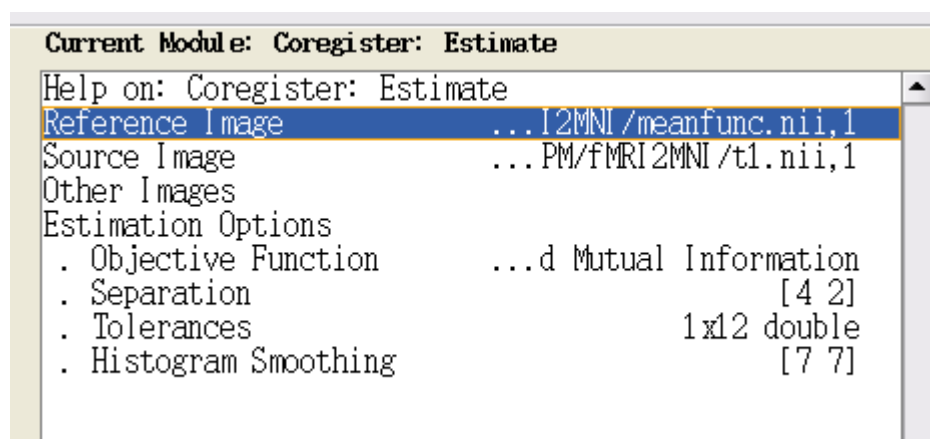


应用变换：选择Realign模块的Reslice模块，选择fMRI图像，其他参数不变。运行结束后会生成 `r*.nii` 和 `mean*.nii` 文件，分别表示头动校正后的文件以及平均fMRI图像。

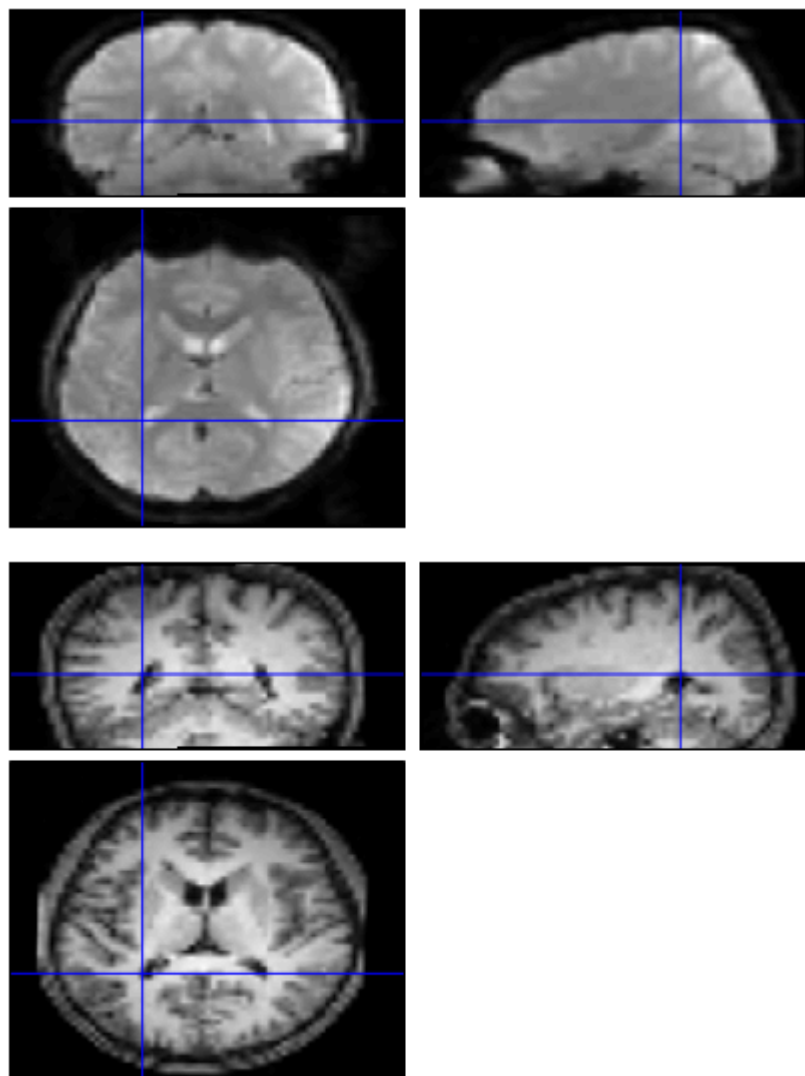
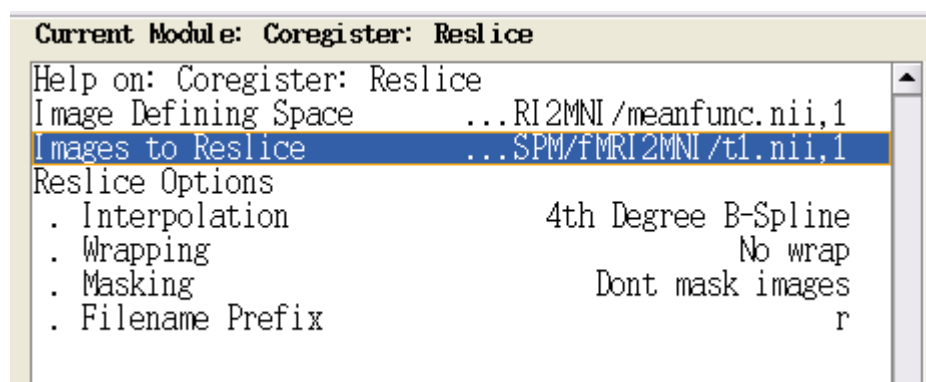


2. 将T1和fMRI图像对齐：虽然是为了将fMRI配准到MNI模板，但是由于fMRI图像本身分辨率太低，直接使用非线性的方式将fMRI配准到MNI模板效果不太好，因此常用做法是先将T1和fMRI图像对齐，然后将T1配准到MNI模板，最后将fMRI图像转换到MNI模板空间。

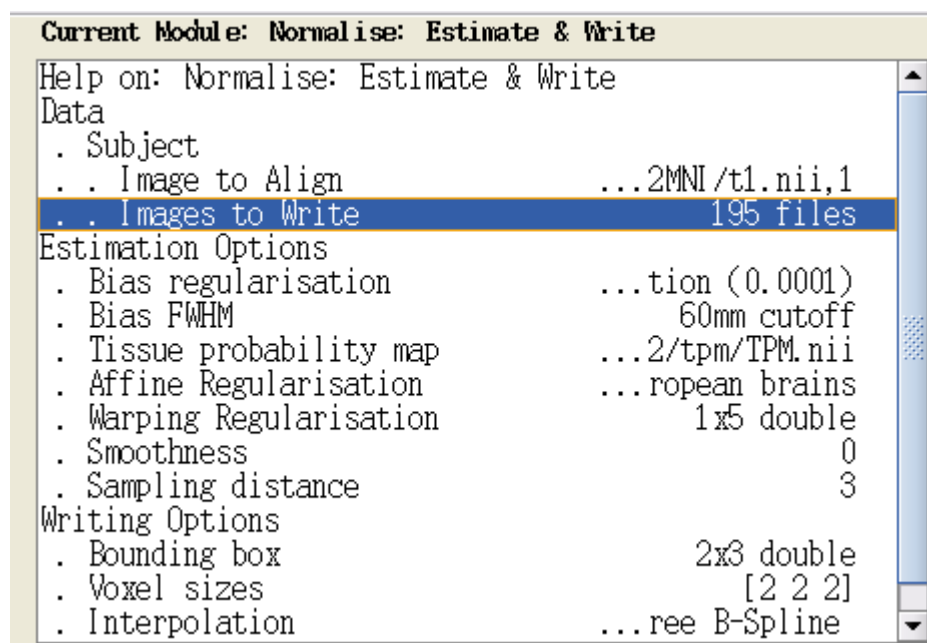
估计变换：选择SPM12的Coregister模块的Estimate选项，在Reference处选择上一步生成的平均fMRI图像，即 `mean*.nii` 文件，在Source Image处选择T1像，其他参数不变。运行结束后，变换矩阵写入T1文件的头信息中；生成 `spm_*.ps` 文件用于结果的可视化。



应用变换：选择Coregister模块的Reslice选项，在Image Defining Space处选择平均的fMRI图像，在Images to Reslice处选择T1图像，其他保持不变。运行结束后生成变换到fMRI图像空间的T1像，即 `r*.nii` 文件。同样地，可以使用Check Reg模块检查T1和fMRI配准质量。实际上，并不需要进行这一步，因为现在的T1像的头信息里已经包含了T1到fMRI的转换矩阵了，可以直接用这个文件进行下一步，这里只是为了保持形式上的一致性。当然，也可以使用变换后的T1像进行下一步，不过变换以后T1像和fMRI图像分辨率一致，即分辨率下降了，因此可能不利于后面的分析。



3. 将T1像配准到MNI模板：这一步和第二节步骤是完全一样的，不同之处在于这个时候的T1像的头信息已经修改了（我认为这是SPM12容易让人困惑的一点，因为它直接修改了原始文件）。由于上一节已经详细描述了分开进行估计变换和应用变换的过程，这里直接将两个步骤一次进行。在Normalize模块下Data选项处添加被试，在Image to Align处选择T1像，在Images to Write处选择进行头动校正后的fMRI文件，即 `r*.nii` 文件，其他保持不变。默认分辨率是2mm，一般fMRI图像分辨率是3mm左右，因此这里可以改为 `[3 3 3]`。



同样地，转换以后使用Check Reg模块检查配准的质量：

