**一种基于生成对抗网络的多模态配准图像生成的方法**

中山大学 瞿毅力 苏琬棋 邓楚富 王莹 卢宇彤 陈志广

**技术领域**

本发明属于医学图像处理领域，具体而言，涉及一种根据给定模态的MRI图像和目标模态，通过条件生成对抗网络生成其他配准的多模态MRI图像的方法。

**背景技术**

**发明内容**

1. 模块分解方法

我们将条件生成对抗网络中的生成器分解成一个编码器和一个解码器，编码器实现将不同模态的MRI编码进同一个语义特征空间，得到语义特征图，解码器接收一个语义特征图和一个条件向量，根据条件向量指定的目标模态将语义特征图解码还原为目标模态的MRI。同时，我们还构建了一个病灶解码器，从编码器编码得到的语义特征图中还原病灶信息。与生成器对应的还有一个鉴别器，鉴别器接收原始的MRI和转换后的MRI，输出他们的模态类别和是否为原始的MRI。因此，我们一共有四个模块，一个编码器，两个解码器和一个鉴别器。我们各个模块均为普通的CNN，可根据任务类型和数据信息进行设计，也可直接采用当前优秀的网络，例如AlexNet、ResNet、GoogleNet、VggNet等，并可根据转换图的验证情况加以调整或重新设计。

1. 独热条件向量生成与连接方法

我们将不同的模态时从0开始进行整数编号，这样每一个模态对应一个整数编号，将模态数量记为C。然后，我们获取到编码器输出的语义特征图的个数N、高H和宽W，再然后，我们生成一个形状为[N,H,W,C]的全零矩阵，其中C为该矩阵的通道维度。最后，我们将生成的矩阵的通道维度的第m通道上的0全部变为1，即得到整数编号为m的模态的独热条件向量。我们将该条件向量与一个语义特征图一起输入给解码器来控制解码器将语义特征图解码到整数编号为m的模态。语义特征图与条件向量的连接方法为通道方向上的堆叠，具体来说，C个通道的条件向量堆叠在语义特征图最后一个通道之后。

1. 模块组合训练方法

模态数量为C时，对任意一个模态m，我们一共进行C-1次模态转换、一次模态重建。模态转换时，编码器将m模态的MRI编码得到语义特征图codem ，然后我们将其与不同的条件向量连接，通过解码器解码出全部的模态。当解码还原到m模态本身时，即是该模态的模态重建。对所有通过模态转换得到的转换图，我们全部采用编码器进行再编码，将全部再编码得到的语义特征图均与m模态的条件向量进行连接，最后再用解码器全部解码得到循环重建的m模态的MRI。注意，模态重建得到的重建图无需再编码和循环重建。模态重建的循环重建都是自监督训练。真实模态图与模态转换的道德转换图分别作为鉴别器的正样本和负样本，通过鉴别器提供的对抗性损失实现无监督训练。

在上述过程中，原始输入模态m对应的病灶标签labelm 作为病灶还原训练的监督标签。具体来说，上述过程中由原始输入的m模态的MRI得到的一个经过编码得到语义特征图和C-1个经过再编码得到的语义特征图，全部通过病灶解码器生成病灶标签图，labelm 作为监督标签。

1. 损失函数设计方法

我们的鉴别器模块独立更新，其损失为：

其中指真实的编号为的模态的MRI，指由编号为的模态转换生成的编号为的模态的MRI，为损失项的权重，0与1表示真实与否，表示模态类别。

我们其他模块通过一个优化器更新训练，损失项包括鉴别器提供的对抗性损失、模态重建自监督损失、模态循环重建自监督损失、模态循环重建一致性损失、语义一致性损失、病灶监督损失、病灶一致性损失。具体来说：

1. 对抗性损失
2. 模态重建自监督损失
3. 模态循环重建自监督损失

其中表示编号为的模态转换到编号为的模态再转换回的模态的MRI。

1. 模态循环重建一致性损失
2. 语义一致性损失

其中，表示编号为的模态的MRI经过编码器编码后得到的语义特征图，表示由编号为的模态转换生成的编号为的模态的MRI经过编码器编码后得到的语义特征图。

1. 病灶监督损失

其中表示编号为的模态的MRI的真实病灶标签，表示编号为的模态的MRI经过编码器编码后再经过病灶解码器解码生成的病灶标签，表示由编号为的模态转换生成的编号为的模态的MRI经过编码器编码后再经过病灶解码器解码生成的病灶标签。

1. 病灶一致性损失
2. 模块组合使用方法

如图所示，使用时，我们仅需将一张任意模态的MRI作为输入，编码器对其编码得到的语义特征图，鉴别器识别其模态类别，然后将语义特征图与其他所有模态的条件向量连接，通过解码器依次解码出全部的其余模态的转换图。这样，我们就实现通过一张单模态MRI得到配准的多模态MRI。同样的，若我们控制条件向量为输入模态的条件向量则编码器与解码器的组合为一个模态重建器，若我们将编码器与病灶解码器组合则我们得到一个病灶检测器。

1. 转换有效性检测方法

得到的转换图我们需要验证它们是否保留了关键的病灶信息以供医生或其他网络诊断用。如图所示，我们先使用真实数据训练一个由编码器和病灶解码器组合得到的病灶检测器，训练收敛后，我们输入测试用的真实MRI，当检测器输出的病灶标签与真实标签一致则说明病灶检测器已经训练好，之后我们将这些真实MRI通过编码器与解码器组合得到的转换器转换得到其他模态的转换图，我们再将这些转换图通过病灶检测器进行检测，若得到的病灶标签与真实MRI的标签一致，则说明转换生成的MRI良好的保留了原模态MRI的病灶信息。若验证结果较差则可调整或重新设计各个模块的网络结构，重新训练和转换生成。

**附图说明**



图1 模块组合训练过程示意图。图中EC表示编码器，DC表示解码器，DCL表示病灶解码器，D表示鉴别器。



图2 模块组合使用生成配准多模态过程示意图。



图3 用于转换有效性验证的病灶检测器的训练过程和验证过程的示意图。



图4 主流程图

**具体实施方式**

我们以两模态的转换为例。

1. 设计各个模块的网络结构
2. 模块组合训练
3. 重组模块
4. 生成配准的多模态MRI
5. 训练病灶检测器
6. 检测测试MRI数据
7. 检测转换MRI数据
8. 评估转换数据质量
9. 结束