



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

基于伪MRI图像放疗计划CT危及 器官自动勾画

学生姓名：孟祥银

学校导师：徐榭 教授

企业导师：顾先宝 高级工程师

2021年5月20日



1. 绪论
2. 方法与材料
3. 结果与分析
4. 总结与展望



1.1.1 调强放疗流程

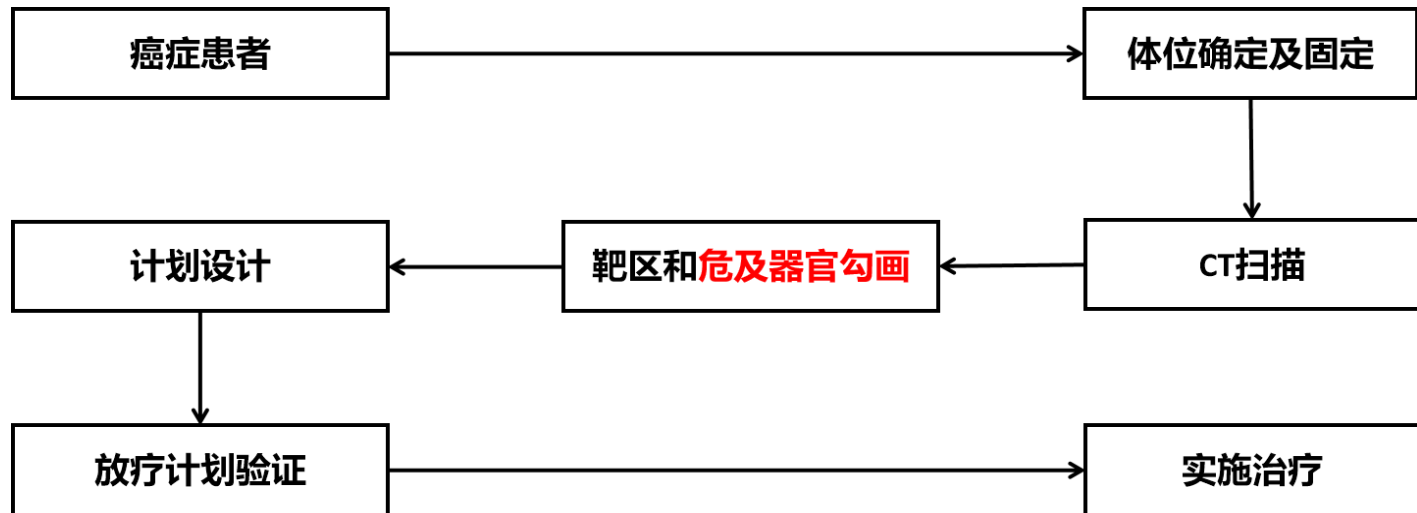


图1.1 调强放疗临床流程

危及器官勾画
方法

手动勾画：由医生手动完成，十分耗时

自动勾画：快速勾画，减少医生的工作量



1.1.2 CT图像自动勾画方法

传统图像处理方法：

缺点：勾画效率低、鲁棒性差

基于模型的方法：

缺点：对初始参数敏感，遇复杂情况计算时间长且结果不理想

基于多图谱的方法：

缺点：配准会引入0.5-6.5mm的系统误差

深度学习方法：

- 普适性强
- 分割效率高、精度高



1.1.2 基于深度学习的CT危及器官自动勾画效果

表1.1 最先进的腹部以及头颈部危及器官的CT自动勾画DSC结果

部位	器官名称	DSC(CT)
腹部(Liu et al. 2020)	膀胱	0.920
	直肠	0.790
	左股骨头	0.910
	右股骨头	0.900
头部(汪志等 2020)	左眼球	0.947
	右眼球	0.944
	左晶体	0.814
	右晶体	0.758
	左视神经	0.747
	右视神经	0.780
	视交叉	0.676



1.1.3 伪MRI图像的重要性

- CT图像上软组织勾画边界难以确定，勾画效果较差
- MRI图像软组织对比度高，便于区分
- 若再采集MRI图像配准融合，可能会导致器官位置、形状变化，还会引入配准误差
- 使用CT图像生成伪MRI图像，可以在保形前提下，进行勾画及计划

1.2.1 生成伪MRI图像的方法

- 与生成伪CT图像方法类似，深度学习方法占据主导地位

表1.2 基于深度学习方法生成伪MRI图像的研究现状

作者	方法	优点	缺点
Jiang et al. 2018	2D CycleGAN + 肿瘤特异性损失	肿瘤区域对应较好	危及器官及正常组织对应较差
Dong et al. 2019	3D CycleGAN + 密集卷积块	充分利用空间信息	内存要求过大 (CPU: 10GB, GPU: 28GB)
Lei et al. 2019			
Liu et al. 2020			



1.2.2 应用伪MRI图像的CT危及器官自动勾画效果

表1.3 腹部、头颈部危及器官仅CT与应用伪MRI图像的自动勾画DSC结果

部位	器官	DSC(CT)	DSC(sMRI)	DSC(CT+sMRI)
腹部 (Dong et al. 2019)	膀胱	0.93	0.95	—
	直肠	0.87	0.89	—
	前列腺	0.82	0.87	—
头部 (Liu et al. 2020)	左晶体	0.72	0.71	0.73
	右晶体	0.70	0.72	0.73
	视交叉	0.43	0.46	0.76
	左眼球	0.65	0.85	0.89
	右眼球	0.69	0.81	0.87
	左视神经	0.65	0.66	0.72
	右视神经	0.68	0.70	0.72
	左耳蜗	0.65	0.67	0.76
	右耳蜗	0.61	0.64	0.75

- 直肠、左右晶体提升效果有限
- 视交叉、左右视神经、左右晶体的勾画效果仍需要进一步优化



研究目的

借助伪MRI图像提高腹部、头颈部危及器官中软组织的CT自动勾画精度

研究任务

1. 训练伪MRI图像生成网络，生成腹部、头颈部伪MRI图像；
2. 训练伪MRI与CT图像的勾画网络，对比伪MRI图像和CT图像中软组织的自动勾画精度



任务一：训练伪MRI图像生成网络，生成腹部、头颈部伪MRI图像

2.1.1 伪MRI图像生成网络架构及目标函数——CylceGAN网络

➤ 生成器：含有9个残差块的ResNet

➤ 判别器：PatchGAN网络

➤ 目标函数：

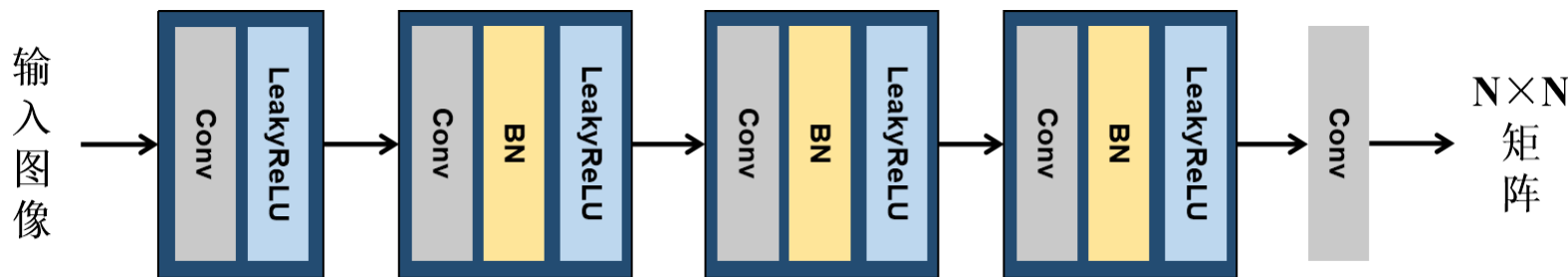


图2.3 PatchGAN判别器网络结构示意图

GAN网络损失函数：

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (2-9)$$

任务一：训练伪MRI图像生成网络，生成腹部、头颈部伪MRI图像

2.1.1 伪MRI图像生成网络架构及目标函数——改进生成器

- 原始CycleGAN网络生成图像中存在**棋盘格伪影**(Checkboard Artifact)
- Odena等人指出，使用**反卷积次数**与生成图像中棋盘格伪影的出现频率呈正相关关系
- 因此本论文使用将输入图像先上采样再卷积的生成器结构，减少反卷积次数
- 受限于GPU显存大小，仍需使用一次反卷积。经测试，仅包含2个残差块为最优结构

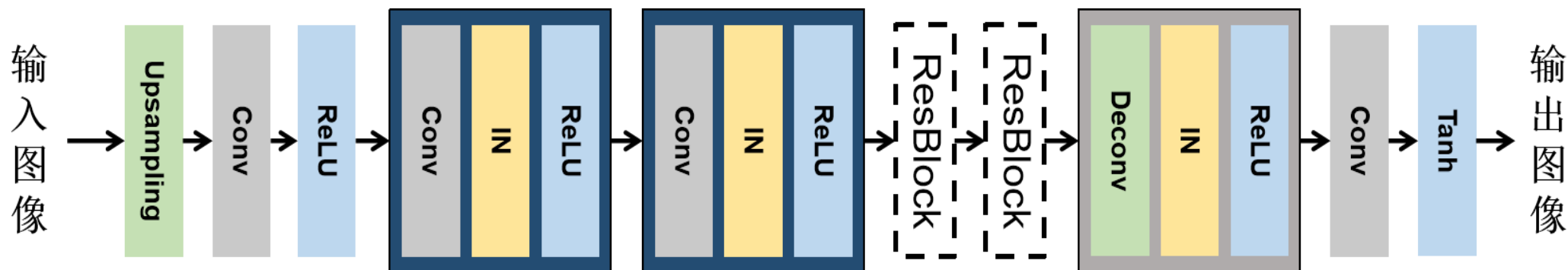


图2.4 改进的生成器网络结构示意图

任务一：训练伪MRI图像生成网络，生成腹部、头颈部伪MRI图像

2.1.1 伪MRI图像生成网络架构及目标函数——添加去噪判别器

- 实验中发现，原始CycleGAN网络生成图像较模糊，丢失了许多诸如血管、器官边界等细节

- 这种模糊的图像与添加高斯噪声的真实MRI图像在视觉上较为相似

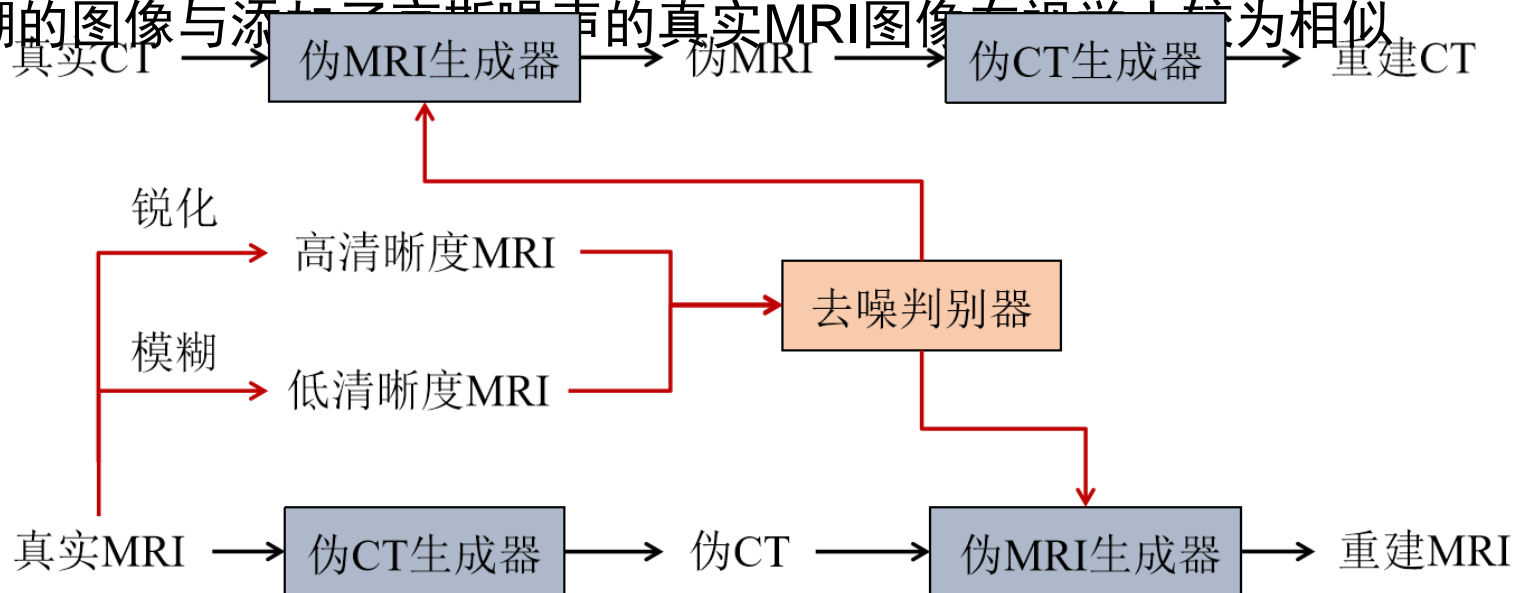


图2.6 含有去噪判别器的伪MRI生成网络数据流

任务一：训练伪MRI图像生成网络，生成腹部、头颈部伪MRI图像

2.1.1 伪MRI图像生成网络架构及目标函数——改进目标函数

- MSE损失会使得生成的图像更加趋向于平均的结果，表现在图像上便较为模糊，呈现水波纹状

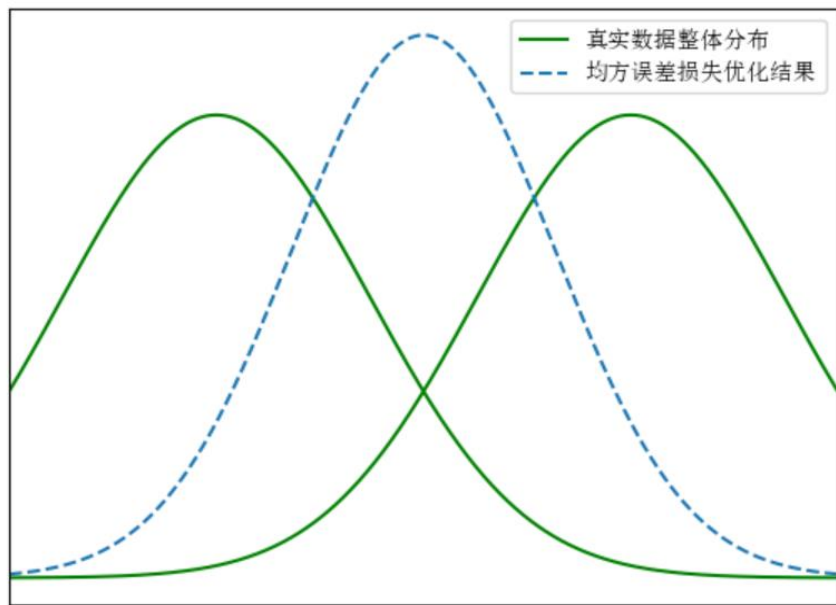


图2.7 均方误差损失(MSE)优化结果与真实数据分布示意图

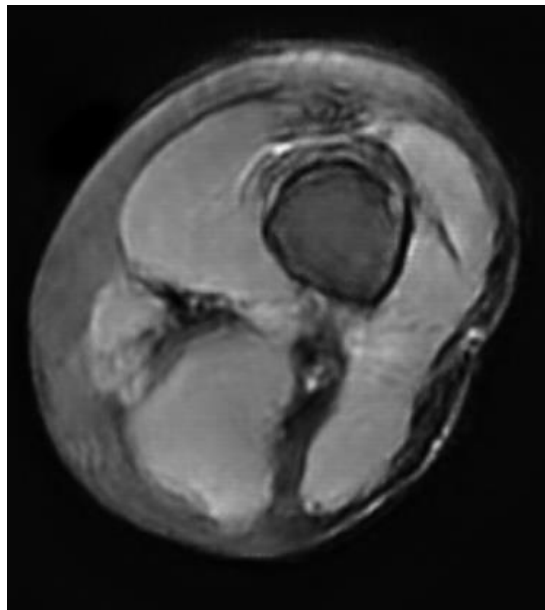
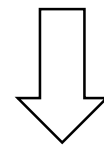


图2.8 原始CycleGAN网络生成的腿部伪MRI

GAN网络损失：

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (2-9)$$



$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}_i| \quad (2-12)$$



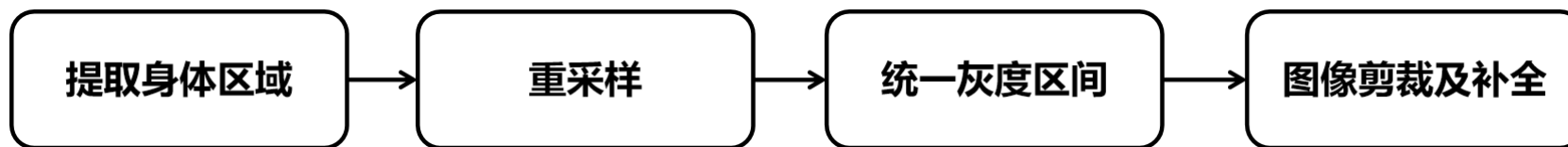
任务一：训练伪MRI图像生成网络，生成腹部、头颈部伪MRI图像

2.1.2 伪MRI图像生成网络输入数据及预处理

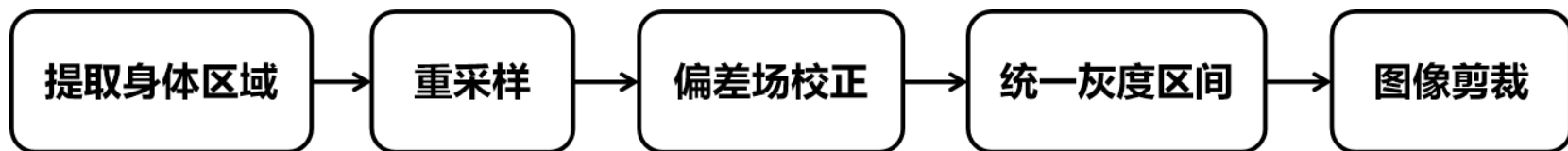
➤ 收集非配对数据

部位	训练集	测试集	像素大小
腹部	52例MRI + 52例CT	22例MRI + 22例CT	MRI: 0.625-0.820mm
			CT: 0.854-0.869mm
头颈部	100例MRI + 50例CT	40例MRI + 20例CT	MRI: 0.469mm
			CT: 0.449-0.625mm

➤ CT数据预处理流程 (图2.9)



➤ MRI数据预处理流程 (图2.10)



2.2.1 自动勾画网络及目标函数——腹部危及器官



$$L_{Dice} = 1 - \frac{2|X \cap Y| + k}{|X| + |Y| + k} \quad (2-18)$$

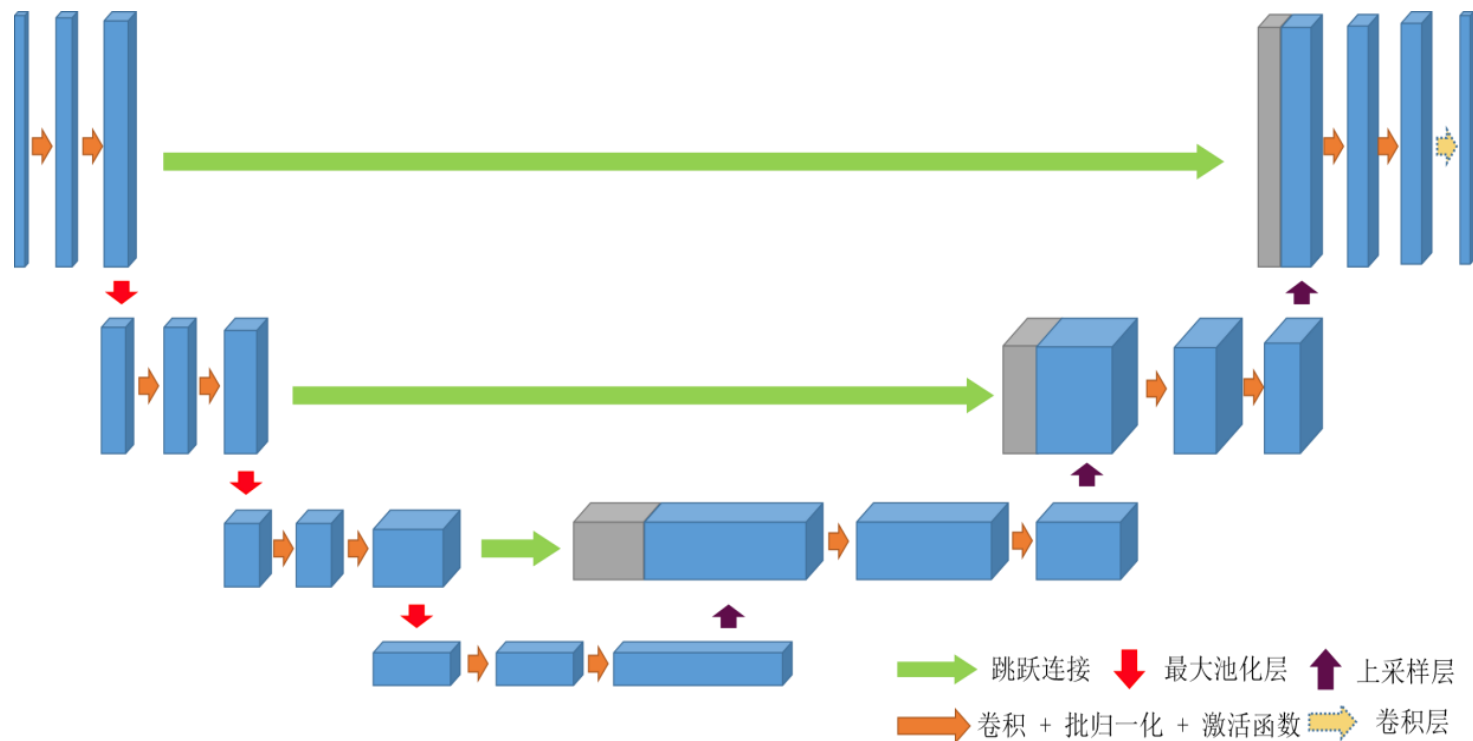
输入图像尺寸:

256 × 256

图2.11 二维残差U-Net网络结构示意图

任务二：训练伪MRI与CT图像的勾画网络 对比自动勾画精度

2.2.1 自动勾画网络及目标函数——头颈部危及器官



目标函数：骰子损失

$$L_{Dice} = 1 - \frac{2|X \cap Y| + k}{|X| + |Y| + k} \quad (2-18)$$

输入图像尺寸：

$$256 \times 256 \times 16$$

图2.12 三维U-Net网络结构示意图



任务二：训练伪MRI与CT图像的勾画网络 对比自动勾画精度

2.2.2 自动勾画网络输入数据及预处理

➤ 收集勾画数据

来源	部位	训练集	测试集	像素大小
安徽省合肥市某三甲医院放疗科	腹部	56例	14例	0.971-1.270mm
第十六届中华医学会AI勾画大赛	头颈部	40例	10例	0.977-1.188mm

➤ CT数据预处理流程

➤ 伪MRI数据预处理流程

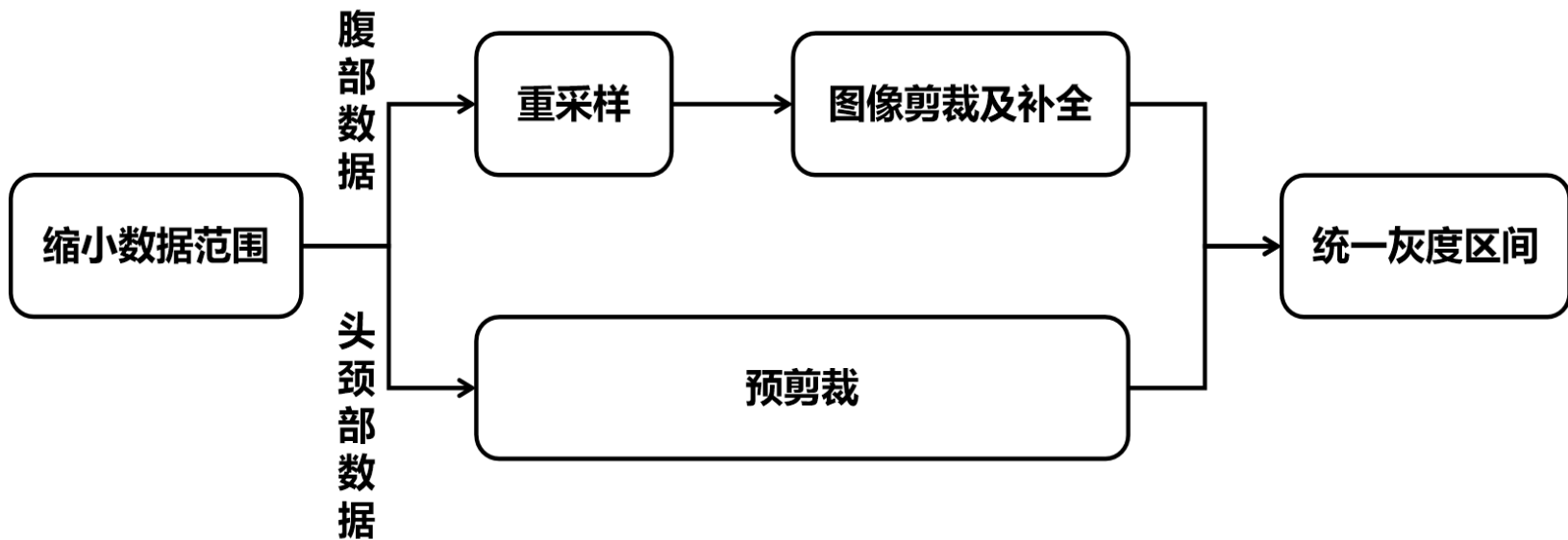


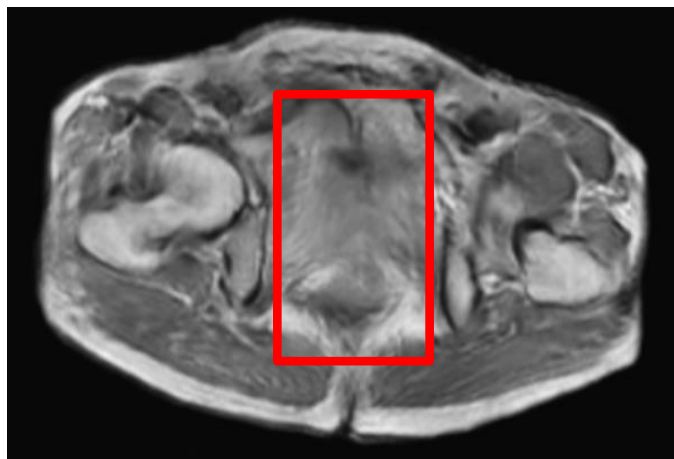
图2.15 用于CT自动勾画的数据预处理流程

任务一:生成腹部、头颈部伪MRI图像

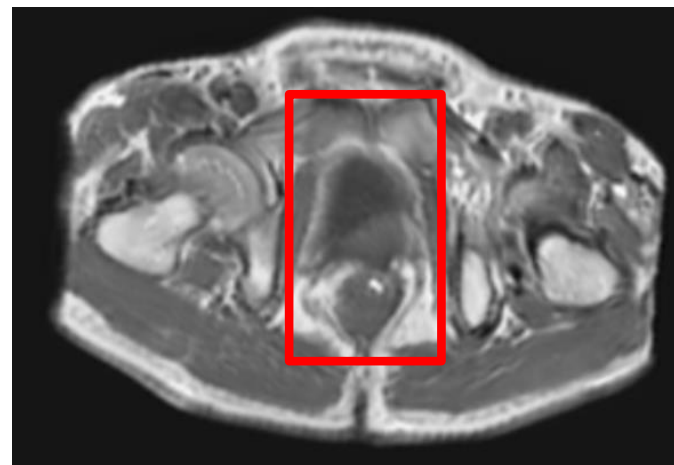
3.1.2 伪MRI图像生成结果——腹部



CT



伪MRI-原始



伪MRI-改进

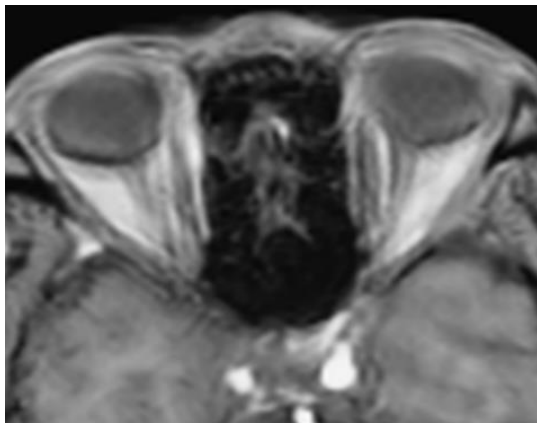
图3.8 腹部伪MRI图像生成结果对比

任务一:生成腹部、头颈部伪MRI图像

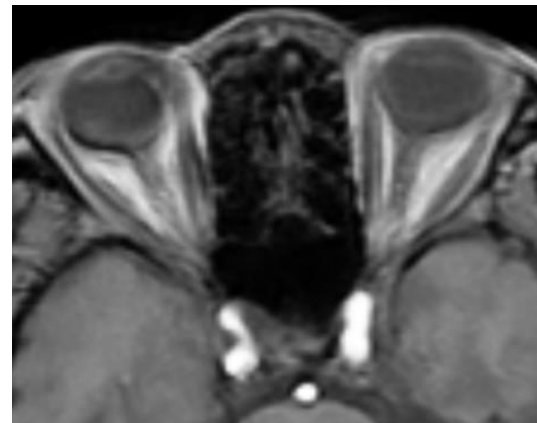
3.1.2 伪MRI图像生成结果——腹部



CT



伪MRI-原始



伪MRI-改进

图3.9 头颈部伪MRI图像生成结果对比

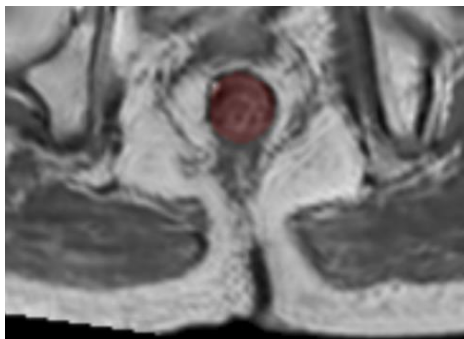
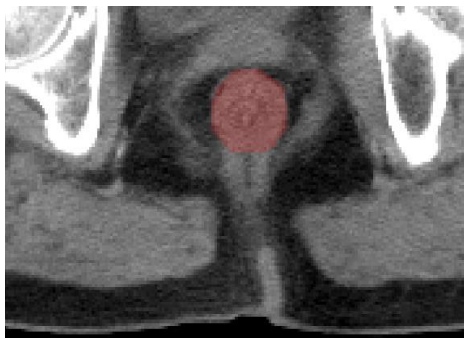


任务二:对比勾画精度

3.2.2 自动勾画结果——腹部

表3.1 两种模型的腹部危及器官自动勾画精度

危及器官	DSC(CT)	DSC(伪MRI)	P值
膀胱	0.939	0.944	0.388
直肠	0.740	0.779	0.003
左股骨头	0.863	0.834	5.12e-6
右股骨头	0.866	0.845	5.97e-7



真值标签	CT勾画
伪MRI勾画	

图3.13 一位患者由不同模型得到的直肠勾画对比图

任务二:对比勾画精度

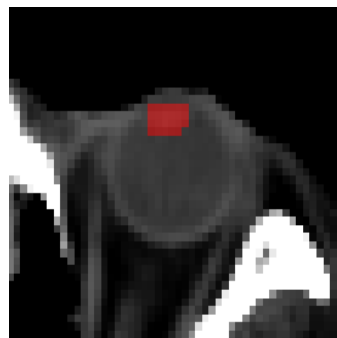
3.2.2 自动勾画结果——头颈部

表3.2 三种模型的头颈部危及器官自动勾画精度

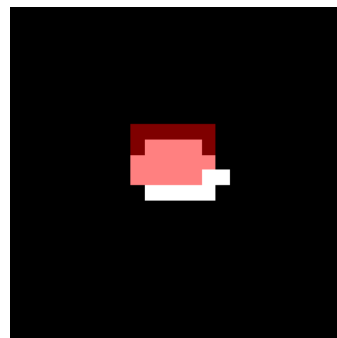
危及器官	DSC(CT)	DSC(伪MRI)	P_1	DSC(CT+伪MRI)	P_2
左晶体	0.652	0.665	0.823	0.752	0.010
右晶体	0.637	0.622	0.331	0.671	0.331
视交叉	0.532	0.546	0.575	0.516	0.433
左视神经	0.664	0.681	0.433	0.710	0.037
右视神经	0.679	0.634	0.003	0.691	0.232

注： P_1 代表CT自动勾画模型与伪MRI自动勾画模型的非参数检验值

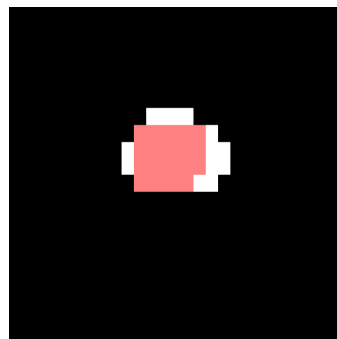
P_2 代表CT自动勾画模型与CT+伪MRI自动勾画模型的非参数检验值



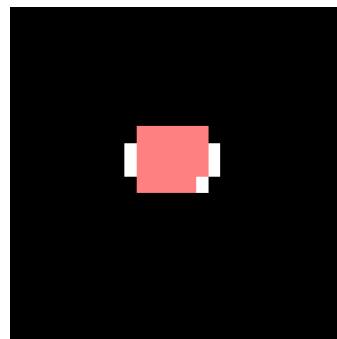
真值标签



CT勾画



伪MRI勾画



CT+伪MRI勾画

图3.14 三种模型预测的左晶体勾画效果图

任务二:对比勾画精度

3.2.2 自动勾画结果——头颈部

表3.2 三种模型的头颈部危及器官自动勾画精度

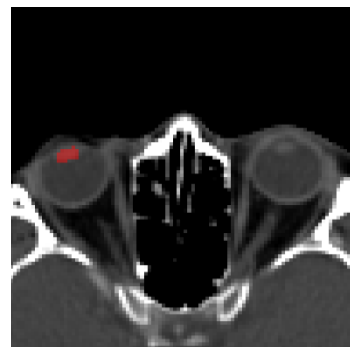
危及器官	DSC(CT)	DSC(伪MRI)	P_1	DSC(CT+伪MRI)	P_2
左晶体	0.652	0.665	0.823	0.752	0.010
右晶体	0.637	0.622	0.331	0.671	0.331
视交叉	0.532	0.546	0.575	0.516	0.433
左视神经	0.664	0.681	0.433	0.710	0.037
右视神经	0.679	0.634	0.003	0.691	0.232

注： P_1 代表CT自动勾画模型与伪MRI自动勾画模型的非参数检验值

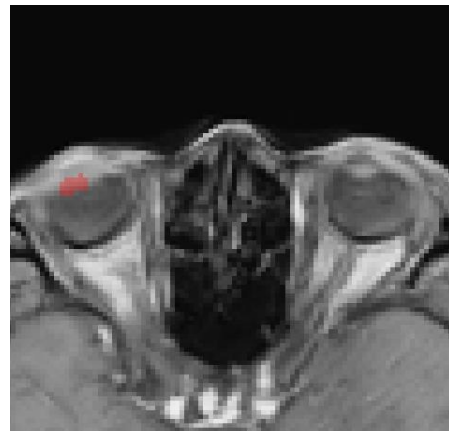
P_2 代表CT自动勾画模型与CT+伪MRI自动勾画模型的非参数检验值



CT图像



CT + 真值标签



伪MRI + 真值标签

图3.15 右晶体伪MRI转换结果



任务二:对比勾画精度

3.2.2 自动勾画结果——头颈部

表3.2 三种模型的头颈部危及器官自动勾画精度

危及器官	DSC(CT)	DSC(伪MRI)	P_1	DSC(CT+伪MRI)	P_2
左晶体	0.652	0.665	0.823	0.752	0.010
右晶体	0.637	0.622	0.331	0.671	0.331
视交叉	0.532	0.546	0.575	0.516	0.433
左视神经	0.664	0.681	0.433	0.710	0.037
右视神经	0.679	0.634	0.003	0.691	0.232

- 效果较差
- 体积小，CT图像中难以识别
- MRI层厚均为5mm，涉及信息少

注： P_1 代表CT自动勾画模型与伪MRI自动勾画模型的非参数检验值
 P_2 代表CT自动勾画模型与CT+伪MRI自动勾画模型的非参数检验值



任务二:对比勾画精度

3.2.2 自动勾画结果——头颈部

表3.2 三种模型的头颈部危及器官自动勾画精度

危及器官	DSC(CT)	DSC(伪MRI)	P_1	DSC(CT+伪MRI)	P_2
左晶体	0.652	0.665	0.823	0.752	0.010
右晶体	0.637	0.622	0.331	0.671	0.331
视交叉	0.532	0.546	0.575	0.516	0.433
左视神经	0.664	0.681	0.433	0.710	0.037
右视神经	0.679	0.634	0.003	0.691	0.232

注： P_1 代表CT自动勾画模型与伪MRI自动勾画模型的非参数检验值
 P_2 代表CT自动勾画模型与CT+伪MRI自动勾画模型的非参数检验值

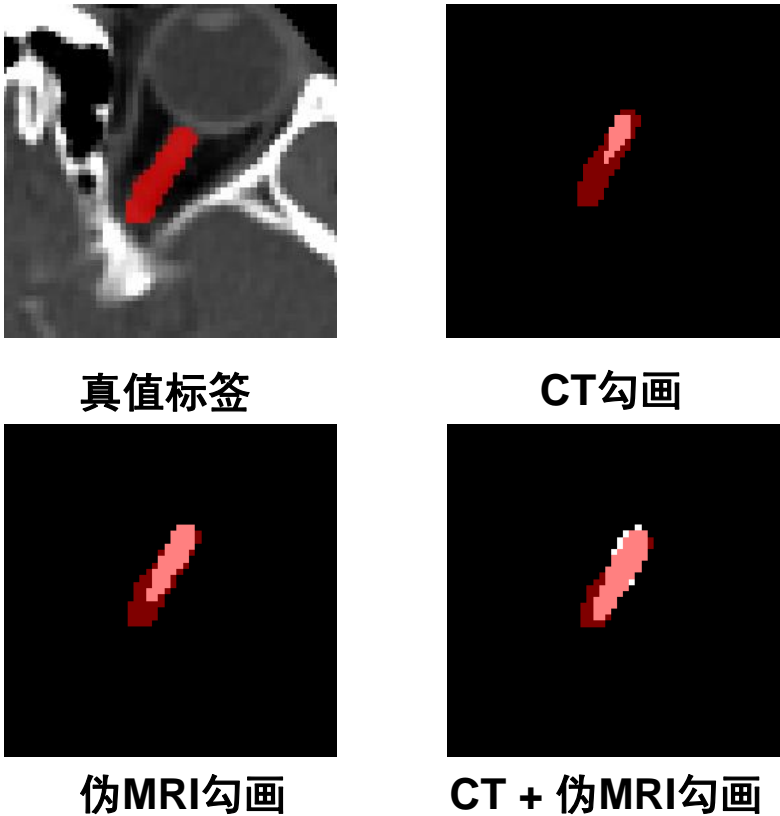


图3.16 三种模型预测的左视神经勾画效果图 23

任务二:对比勾画精度

3.2.2 自动勾画结果——头颈部

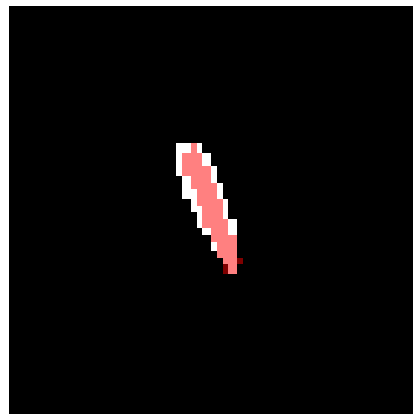
表3.2 三种模型的头颈部危及器官自动勾画精度

危及器官	DSC(CT)	DSC(伪MRI)	P_1	DSC(CT+伪MRI)	P_2
左晶体	0.652	0.665	0.823	0.752	0.010
右晶体	0.637	0.622	0.331	0.671	0.331
视交叉	0.532	0.546	0.575	0.516	0.433
左视神经	0.664	0.681	0.433	0.710	0.037
右视神经	0.679	0.634	0.003	0.691	0.232

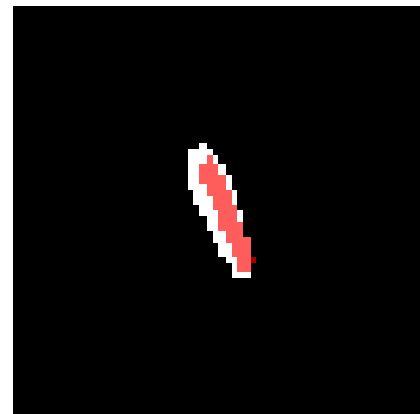
注： P_1 代表CT自动勾画模型与伪MRI自动勾画模型的非参数检验值

P_2 代表CT自动勾画模型与CT+伪MRI自动勾画模型的非参数检验值

右视神经定性结果



CT勾画



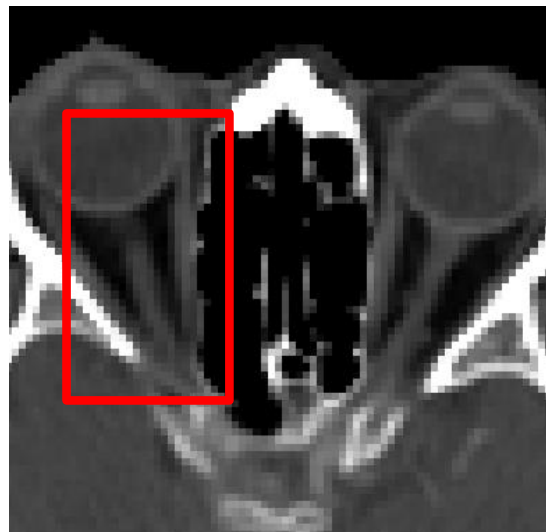
伪MRI勾画

图3.17 不同模型预测的右视神经勾画效果图

任务二:对比勾画精度

3.2.2 自动勾画结果——头颈部

- 伪MRI图像自动勾画训练数据问题
- 6例(15%)存在转换后视神经变大的情况
- 左视神经的转换基本正常
- 说明伪MRI生成网络转换存在偏差，还需要进一步优化
- 在较大器官(直肠、膀胱)处，可能影响较小，没有观察到此现象



CT图像



伪MRI图像

图3.18 训练集中一数据的视神经对比图



4.1 总结

- ✓ 任务一搭建了伪MRI生成网络，收集并处理了非配对的CT-MRI数据集，经过训练与测试，完成了腹部、头颈部伪MRI图像的生成
- ✓ 任务二搭建了自动勾画网络，收集并处理了勾画数据集，使用CT图像数据集以及伪MRI图像数据集对网络进行训练，得到了不同的勾画模型，最终测试和对比了伪MRI图像和CT图像中软组织自动勾画的精度
- ✓ 创新之处在于提出了独特的伪MRI生成网络，内存需求小(GPU内存<10GB)，输出伪MRI图像可以在直肠、左晶体、左视神经获得更精确的自动勾画结果



4.2 展望

- 多序列的伪MRI图像生成
- 尝试使用不同的源图像进行伪MRI的生成，例如T1序列生成Flair序列伪MRI图像
- 伪MRI图像与CT图像间的对应准确度标准
- 伪MRI图像辅助诊断
- 孟祥银，吴香奕，彭昭，徐榭，裴曦. 结合伪MRI信息的腹部CT危及器官自动勾画[J]. 中国医学物理学杂志，录用编修中.