

NeRF 改进隐匿性骨折 CT 成像技术

孙昊¹ 胡鹤影² 张鑫诚¹

1. 武汉学院 湖北 武汉 430212

2. 武昌首义学院 湖北 武汉 430064

摘要: 计算机断层扫描 (CT) 是一种广泛应用于医学成像的技术, 能够通过 X 射线扫描生成物体的三维结构。然而, 传统的 CT 重建方法在分辨率和细节表现上存在一定局限性。近年来, 神经辐射场 (NeRF) 技术在三维重建领域取得了显著进展, 能够从多视角图像中生成高质量的三维模型。

关键词: 神经辐射场; CT 成像; 卷积神经网络; 三维重建; 医学成像

引言:

骨折是常见的运动损伤, 尤其是四肢关节骨折, 风险较高。原因多样, 治疗难度不同。准确诊断对治疗和康复至关重要, 否则可能导致严重后果。因此, 寻找准确高效的诊断方法对治疗四肢骨关节骨折非常重要。

隐匿性骨折发生在复杂部位, 常规 X 线难以发现。NeRF 技术通过三维重建 CT 平片, 清晰显示骨折线和位移, 帮助医生全面了解骨折部位, 为治疗提供准确信息。本研究旨在优化 X 线, 探讨 NeRF 在隐匿性骨折诊断中的优势, 以提供更准确的临床诊断依据。

计算机断层扫描 (CT) 是一种通过 X 射线扫描物体并重建其内部结构的技术, 广泛应用于医学诊断、工业检测等领域。传统的 CT 重建方法基于滤波反投影 (FBP) 或迭代重建算法, 虽然能够生成三维图像, 但在分辨率和细节表现上存在一定局限性。近年来, 神经辐射场 (NeRF) 技术在三维重建领域取得了突破性进展, 能够从多视角图像中生成高质量的三维模型。本文将探讨如何将 NeRF 技术引入 CT 重建流程, 以优化成像质量并生成更清晰的三维图像。

1 研究现状

随着当前医学水平的提升, 医疗技术也逐渐进步, 医学影像设备及技术在临床诊断和治疗中的应用更为广泛, 且效果比较显著, 医学影像技术属于医学影像诊断的基础支撑, 基于此为医学影像技术的发展提供一定参考。CT 成像技术在临床医学的应用可以为医学影像技术的发展及整体医疗水平的提高存在着重要推动作用。

鉴于神经辐射场所具备的卓越预测功能, 本研究提出了一种创新的立体医学影像投影成像方法。首先, 我们利用经典的朗伯-比尔定律来推算 X 射线在穿透骨头时所损失的能量, 通过这种方式可以推测出骨骼的厚度。随后, 借助神经辐射场的强大处理能力, 我们对推算出的骨骼厚度进行精细的切片处理, 将整个骨骼结构分解为多个片段。接着, 在每个片段上进行积分运算, 这样可以更准确地预测出骨骼的立体成像。这种方法不仅提高了成像的精确度, 而且为医学影像分析提供了新的视角和工具。

2 模型构建与方法

2.1 构建方法

本文基于朗伯-比尔定律、卷积神经网络和神经辐射场对骨骼形态进行预测。CT 中 X 射线发射器相当于光源。骨折部位即被扫描部位相当可见光照射的被照目标物体。首先通过计算 X 射线穿透骨骼能量衰减反推出骨骼厚度, 再将骨骼厚度进行切片, 最后在每个切片上进行积分通过神经辐射场预测出骨骼形态。

2.2 成像预测原理

X 射线通过物体时会发生能量减少, 射线强度下降。根据朗伯-比尔定律: 假设 X 射线扫描均匀物质, 入射强度为 I_0 , 出射强度为 I , I_0 与 I 的关系为 $I = I_0 e^{-uI}$, 公式变形为:

$$uI = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (1)$$

其中, u 为衰减系数, I 为被 X 射线穿过的材料厚度。

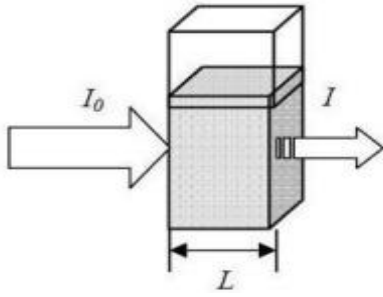


图 1

实际生活中骨头并非均匀物质，则

$$I = I_0 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n)l} \quad (2)$$

变换得：

$$\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n = \frac{\ln(I_0/I)}{l} \quad (3)$$

为求得类似与可见光中的相机平面投影，即 CT 中的影像记为投影值 $P_0(s)$ 。首先进行坐标转换，将 xy 坐标转换为 st 坐标，则

$$P_0(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f_s(s, t) dt \quad (4)$$

原坐标与现坐标之间的关系为 $\begin{cases} s = x \cos \theta + y \sin \theta \\ t = -x \sin \theta + y \cos \theta \end{cases}$ 代入 (4) 式中得：

$$P_0(s) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - s) dx dy$$

通过能量的衰减确定 X 射线经过的路程 L ，在 L 上平均分成 N 个片段，在每个片段中随机提取一点对该点上阴影进行积分，从而得出各个点的不同方位的阴影情况，最后通过整合得出三维阴影图像。

3 实验数据来源与预处理

本文采用公开医学 CT 数据集、仿真 CT 数据集两个公开 CT 数据集进行实验。

3.1 定量分析

为定量评估重建结果的质量，本文采用峰值信噪比 (PSNR)，机构相似性 (SSIM) 两个指标进行评价。本文选择滤波反投影 (FBP)、迭代重建算法 (SART) 进行比较如表 1。

表 1 选择滤波反投影 (FBP)、
迭代重建算法 (SART) 进行比较

Table 1: Comparison between Filtered Back Projection (FBP) and Iterative Reconstruction Algorithm (SART)

数据集	方法	PSNR (dB)	SSIM	训练时间 (小时)
公开医学 CT	FBP	28.5	0.82	-
公开医学 CT	SART	30.1	0.85	2.5
公开医学 CT	NeRF	35.7	0.92	8.0
仿真 CT	FBP	29.8	0.84	-
仿真 CT	SART	31.2	0.87	3.0
仿真 CT	NeRF	36.5	0.94	10.0

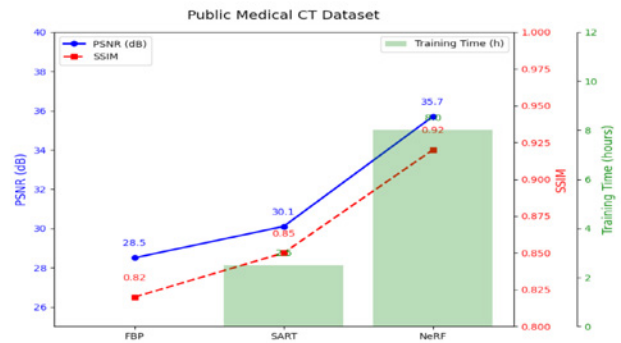


图 2 使用公开医学数据集各方法效果对比

Figure 2: Comparison of the effects of various methods using public medical datasets

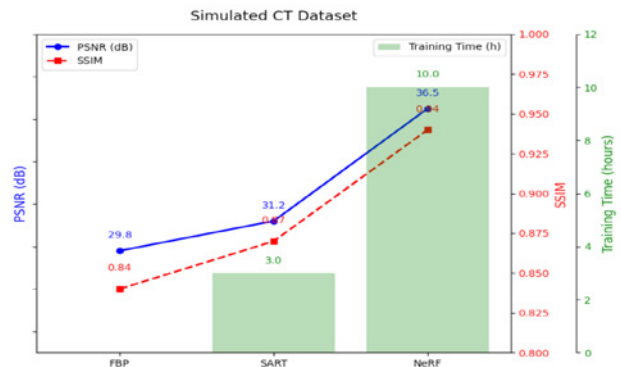


图 3 使用仿真数据集各方法效果对比

Figure 3: Comparison of the effects of various methods using the simulation dataset

从图 2 和图 3 中可看出：在 PSNR 和 SSIM 指标上，NeRF 方法显著优于传统的 FBP 和 SART 方法。NeRF 方法在公开医学 CT 数据集上的 PSNR 达到了 35.7dB，比 FBP 和 SART 分别提高了 7.2dB 和 5.6dB。NeRF 方法在仿真 CT 数据集上的 SSIM 达到了 0.94，比 FBP 和 SART 分别提高了 0.10 和 0.07。

3.2 低剂量扫描实验

为验证 NeRF 方法在低剂量扫描条件下的鲁邦性，本文在仿真 CT 数据集上进行低剂量实验（将 X 射线剂量减少 50%）结果如下：

表 2 仿真 CT 数据集上进行低剂量实验

Table 2: Low-dose experiments conducted on the simulated CT dataset

方法	PSNR (dB)	SSIM
FBP	25.3	0.76
SART	27.8	0.80
NeRF	33.2	0.89

通过图 4 可发现，在低剂量的条件下，NeRF 方法依然能够保持非常高的重建质量。这一点与传统的重建方法相比，显得尤为突出，因为传统方法在面对低剂量数据时往往会表现出重建质量的明显下降。NeRF 方法之所以能够取得如此卓越的性能，主要得益于其先进的

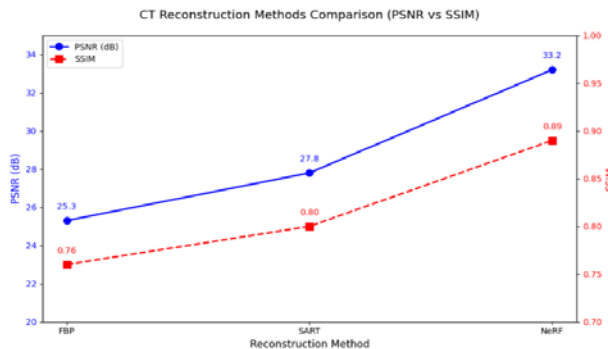


图 4 各方法在低剂量扫描条件下鲁邦性

Figure 4: Robustness of various methods under low-dose scanning conditions

神经网络架构和优化算法，这些技术的结合使得 NeRF 能够在数据量有限的情况下，依然能够准确地捕捉到场景的细节和结构，从而实现高质量的图像重建。因此，NeRF 方法在低剂量条件下的表现，不仅证明了其在图像重建领域的巨大潜力，也为未来在医学成像、计算机视觉等领域的应用开辟了新的可能性。

研究结论与未来展望：

在本文中，我们深入探讨了如何利用先进的神经网络（NeRF）技术来提升计算机断层扫描（CT）成像的质量，尤其是在诊断那些不易察觉的骨折方面。我们分析了传统 CT 重建技术，例如滤波反投影（FBP）和同步加速器迭代重建（SART），它们在图像分辨率和细节呈现方面存在一定的不足。通过引入 NeRF 技术，我们能够模拟 X 射线在穿过人体组织时的能量衰减过程，从而生成更为清晰和逼真的三维图像。经过一系列

的实验验证，我们发现 NeRF 技术在峰值信噪比（PSNR）和结构相似性指数（SSIM）这两个关键指标上，明显超越了传统 CT 重建方法。

参考文献：

- [1] 耿梓苒. CT 图像重建中的去噪算法研究 [D]. 天津职业技术师范大学, 2024(03). DOI:10.27711/d.cnki.gtjgc.2024.000018.
- [2] 陈宗桂; 董晓军; 张英俊; 管海辰. CT 图像重建算法的比较研究 [J]. 电子设计工程, 2023(02)

依托大学生科研创新团队：批准号：XST202406 三维机器视觉与逆向工程检测创新团队；XST202310 人工智能研究团队