

文章编号: 1007-2780(2013)02-0295-05

基于切线反投影的 CT 金属位置和形状标定

李 铭^{1,2,3}, 张 涛^{1*}, 郑 健³, 杨宏成^{2,3}, 卢彦飞^{2,3}

(1. 长春光学精密机械与物理研究所, 130033, E-mail: daming548@yahoo.com.cn;
2. 中国科学院大学, 100049;
3. 苏州生物医学工程技术研究所, 215163)

摘要: CT 金属位置和形状标定是 CT 重建中的一个重要问题。本文提出了一种基于切线反投影 (TBP) 的金属位置和形状标定方法。该方法首先利用扇束 CT 扫描的几何原理, 对金属物体进行模拟, 得到模拟的原始正弦图。然后, 基于区域生长图像分割技术, 从模拟的原始正弦图中分割出金属区域的正弦图。最后, 利用 TBP 方法对金属区域的正弦图进行重建, 得到金属物体的位置和形状。计算机模拟实验表明, 该方法能够在数字 phantom 中准确地确定金属物体的位置和形状。

关键词: 切线反投影; 模拟原始正弦图; 区域生长图像分割; 金属物体位置和形状标定
中图分类号: TP391.4 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20132802.0295

Determination of Location and Shape of Metallic Object in CT Based on Tangent Back-Projection

LI Ming^{1,2,3}, ZHANG Tao^{1*}, ZHENG Jian³, YANG Hong-cheng^{2,3}, LU Yan-fei^{2,3}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,

Changchun 130033, China, E-mail: daming548@yahoo.com.cn;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology, Chinese Academy of Sciences, Suzhou 215163, China)

Abstract: A new method for accurate determination of the location and shape of metallic object in X-ray computed tomography by a binary image reconstruction technique is proposed. The binary image reconstruction technique used here is based on tangent back-projection (TBP). The proposed method firstly uses geometry of Fan-Beam CT scan to obtain simulated raw sinogram. Next, based on region growing image segmentation, the metal region sinogram is segmented from simulated raw sinogram. The final binary image is reconstructed by TBP. A computer simulation experiment demonstrated the proposed method can accurately determinate the location and shape of metallic object in digital phantom.

Key words: Tangent back-projection; simulated raw sinogram; region growing image segmentation; location of the metallic object

收稿日期: 2012-07-06; 修订日期: 2012-10-18

基金项目: 国家自然科学基金 (No. KGCX2-YW-909); 中国科学院知识创新工程 (No. BK2011331)

作者简介: 李铭 (1984-), 男, 博士, 主要从事 CT 金属位置和形状标定研究。

* 通信作者, E-mail: zhangt@ciomp.ac.cn

1 引言

CT 扫描技术广泛应用于医学、工业等领域。其基本原理是利用 X 射线穿透物体后，探测器接收到的信号强度与物体内部结构的吸收系数有关。通过采集不同角度的投影数据，利用滤波反投影 (FBP) 等算法进行重建，得到物体的断层图像。

在 CT 扫描过程中，金属边界的存在会对图像质量产生严重影响。金属边界会产生硬化伪影，导致重建图像出现明显的畸变和噪声。因此，研究金属边界切线方程对于提高 CT 图像重建的精度和稳定性具有重要意义。

本文主要研究金属边界切线方程的推导及其在 CT 图像重建中的应用。通过分析金属边界在 CT 扫描中的几何特性，推导出金属边界切线方程，并探讨其在图像重建中的具体应用。

2 方法

2.1 金属边界切线方程

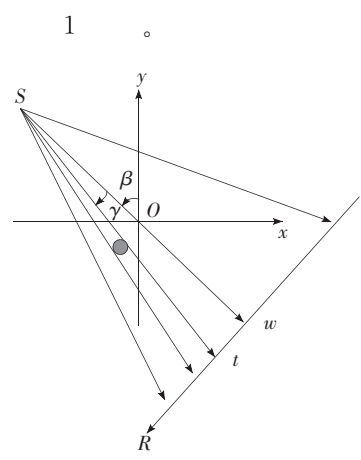


Fig. 1 Geometry of Fan-Beam CT scans

根据图 1 所示的几何关系，可以推导出金属边界切线方程。设金属边界切线方程为：

$$\cos(\gamma + \beta)x + \sin(\gamma + \beta)y - D\sin(\gamma) = 0 \quad (1)$$

其中， γ 为探测器接收到的投影数据对应的角度， β 为源点 S 相对于 y -轴的角度， D 为源点 S 到探测器 R 的距离。

2.2 基于区域生长的图像分割算法

在 CT 图像重建过程中，金属边界的存在会导致图像出现明显的畸变和噪声。为了消除这些伪影，可以采用基于区域生长的图像分割算法。该算法的基本思想是将图像分割成不同的区域，然后根据区域生长的原理，将具有相似特性的区域合并在一起，从而得到完整的物体边界。

具体实现步骤如下：

1. 对重建后的 CT 图像进行预处理，包括滤波和归一化。
2. 计算图像中每个像素的灰度值及其邻域像素的灰度值。
3. 根据灰度值的相似性，将具有相似特性的像素合并为一个区域。
4. 重复上述过程，直到所有像素都被合并到一个或多个区域中。
5. 根据区域生长的结果，提取出金属边界，并用于校正重建图像。

通过上述算法，可以有效地消除金属边界伪影，提高 CT 图像重建的精度和稳定性。

$$\cos(\gamma + \beta)x + \sin(\gamma + \beta)y - D\sin(\gamma) = 0 \quad (2)$$

CT

f_m

$$f(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } (x,y) \in f_m \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

I_i, i

X

$$I = I_n \cap I_{n-1} \cap \dots \cap I_2 \cap I_1 \quad (4)$$

(4)

3 实 验

2.3 基于切线反投影二值图像重建方法

[3]

1, 6

$0 \sim 360^\circ$, 0.5° , 720

1 024

$1\ 024 \times 720$

512×512

表 1 数值模型参数

Table 1 Parameters of phantom

				$/^\circ$	$/\text{cm}^{-1}$
1	(0,0)	0.69	0.92	0	2.00
2	(0,-0.018 4)	0.662 4	0.874	0	-0.98
3	(0.22,0)	0.11	0.31	-18	-0.02
4	(-0.22,0)	0.16	0.41	18	-0.02
5	(0,0.35)	0.21	0.25	0	0.01
6	(0,0.1)	0.10	0.08	0	10.01
7	(0,-0.1)	0.046	0.046	0	0.01
8	(-0.08,-0.605)	0.046	0.023	0	0.01
9	(0,-0.606)	0.023	0.023	0	0.01
10	(0.06,-0.605)	0.23	0.046	0	0.01

3.1 实验过程

3.1.1 金属区域生长法

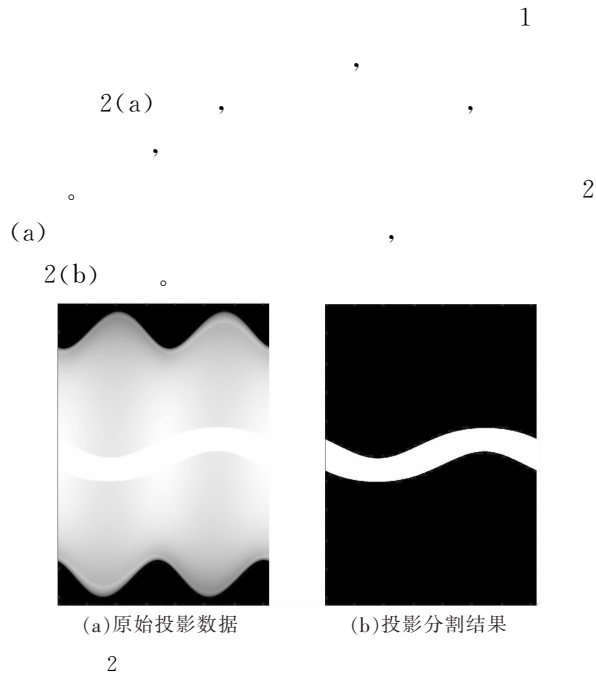


Fig. 2 Segmented metal region sinogram based on region growing method

3.1.2 基于线性的金属区域生长法

对于线性金属区域生长法，首先对原始投影数据进行线性化处理，然后利用区域生长法进行分割。该方法能够有效提取金属区域的特征，并生成高质量的投影分割结果。图2展示了基于区域生长法的金属区域分割结果，图3展示了TBP重建的金属区域与阈值分割金属区域参数的对比。

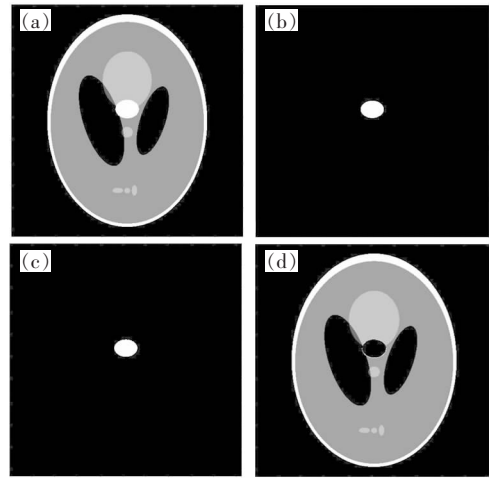


Fig. 3 TBP reconstructed image and error analysis result

3.2 实验分析

为了验证TBP重建金属区域与阈值分割金属区域参数的对比，我们进行了实验分析。图3展示了TBP重建的金属区域与阈值分割金属区域参数的对比。图3(a)为原始CT扫描图像，图3(b)为TBP重建的金属区域，图3(c)为误差分析结果，图3(d)为另一种视角的TBP重建金属区域。实验结果表明，TBP重建的金属区域与阈值分割金属区域参数的对比结果如下：

CT [3]。图3(a)为原始CT扫描图像，图3(b)为TBP重建的金属区域，图3(c)为误差分析结果，图3(d)为另一种视角的TBP重建金属区域。实验结果表明，TBP重建的金属区域与阈值分割金属区域参数的对比结果如下：

(D_{TBP}) (D_{YD}) (I) D_I ; (II) D_{II} ; (III) D_{III} 。 0.004 cm, 2

0.006 cm, 1.5 ; 0.015 cm, 4

表2 TBP重建金属区域与阈值分割金属区域参数对比

Table 2 Comparison of geometric dimensions of TBP reconstructed metal object and threshold segmentation result

	TBP					
	D_I /cm	D_{II} /cm	D_{III} /cm	D_I /cm	D_{II} /cm	D_{III} /cm
	0.16	0.2	(0,0.1)	0.16	0.2	(0,0.1)
	0.153	0.196	(0,0.10)	0.174	0.216	(0,0.101)
	0.007	0.004	0	0.014	0.016	0.001

4 结 论

参 考 文 献:

- [1] Robertson D D, Yuan J, Wang G, *et al.* Total hip prosthesis metal-artifact suppression using iterative deblurring reconstruction [J]. *J. Computer Assisted Tomography*, 1997, 21(2):293-298.
- [2] Kalender W A, Hebel R, Ebersberger J. Reduction of CT artifacts caused by metallic implants [J]. *Radiology*, 1987, 164(2):576-577.
- [3] Veldkamp W J H, Joemai R M S, van der Molen A J, *et al.* Development and validation of segmentation and interpolation techniques in sinograms for metal artifact suppression in CT [J]. *Medical Physics*, 2010, 37(2):620-628.
- [4] Glover G H, Pelc N J. An algorithm for the reduction of metal clip artifacts in CT reconstructions [J]. *Medical Physics*, 1981, 8:799-807.
- [5] Mahnken A H, Raupach R, Wildberger J E, *et al.* A new algorithm for metal artifact reduction in computed tomography: in vitro and in vivo evaluation after total hip replacement [J]. *Investigative Radiology*, 2003. 38(12):769-775.
- [6] Yu H, Zeng K, Bharkhada D K, *et al.* A segmentation-based method for metal artifact reduction [J]. *Academic Radiology*, 2007, 14(4):495-504.
- [7] Yazdia M, Gingras L, Beaulieu L. An adaptive approach to metal artifact reduction in helical computed tomography for radiation therapy treatment planning: Experimental and clinical studies [J]. (vol 62, pg 1224, 2005). *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, 2005. 63(2):1224-1331.
- [8] Zhang Y B, Zhang L F, Ronald X, *et al.* Reducing metal artifacts in cone-beam CT images by preprocessing projection data [J]. *International J. Radiation Oncology, Biology, Phy.* 2007, 67(3):924-932.
- [9] De Man B, Nuyts J, Dupont P, *et al.* Reduction of metal streak artifacts in x-ray computed tomography using a transmission maximum a posteriori algorithm [J]. *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record 2*, 1999: 850-854.
- [10] Wang G, Snyder D L, Osullivan J A, *et al.* Iterative deblurring for CT metal artifact reduction [J]. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, 1996. 15(5):657-664.
- [11] Wang J, Xing L. A binary image reconstruction technique for accurate determination of the shape and location of metal objects in x-ray computed tomography [J]. *J. X Ray Sci. Technol.*, 2010. 18(4):403-414.
- [12] , , , . [J]. , 2012, (5): 692-696.
- [13] , , . [J]. , 2012, (5):682-686.
- [14] , , , . MATLAB 2 字 体 处 [M]. : , 2010:212-214.