

文章编号: 1007 - 1482(2005)02 - 0108 - 04

·新技术与新方法·

CT图像中金属伪影的快速校正

谷建伟, 张丽, 陈志强, 邢宇翔

(清华大学工程物理系, 北京 100084)

摘要: CT系统由于检测对象含有金属夹杂而使得重建图像中出现金属伪影,影响图像的质量。针对金属伪影,提出一种快速而稳定的校正方法。首先判断金属投影区域,然后对金属投影进行插值,然后重建图像。最后,在重建的图像中插入金属部分,得到完整的重建图像。数值模拟和实际CT系统的实验表明,该方法能有效的消除金属伪影,并能保留金属信息,恢复图像的完整。该算法计算复杂度很小,计算快速,具有较高的实用价值。

关键词: X射线 CT; 金属伪影校正; 插值方法

中图分类号: O5

文献标识码: A

Fast correction of metal artifacts in CT images

GU Jian-wei, ZHANG Li, CHEN Zhi-qiang, XING Yu-xiang

(Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: X-ray CT plays an important role in medical fields, industrial nondestructive tests and public security. In X-ray imaging, metal objects absorb X-rays greatly, which introduces streaks on reconstructed images. In this paper, a fast method for metal artifacts reduction is proposed. Firstly, the metal projection region is identified by reprojecting the metal regions extracted from an initial reconstruction without modification. Secondly, the projection in metal projection regions is interpolated. Thirdly, the image is reconstructed by filtered backprojection algorithm using the modified projection. Finally the metal parts are inserted into the reconstructed image. A numerical simulation and practical experiments have demonstrated that our method rapidly suppressed most of metal artifacts, and reserved metal information. The proposed method has high practical value because of its little computational complexity, rapid implementation, effective reduction of metal artifacts and so on.

Key words: X-ray CT; metal artifacts reduction; interpolation method

CT图像中金属物体会引起伪影,这些伪影降低了断层图像中金属周围的清晰度,对断层结构的判断带来很大的困难。金属伪影主要表现为由大投影数据引起的从金属区域发出的条状伪影,由X射线能谱硬化引起的杯状伪影和多个金属之间的暗带区域(见图3(b))。这些伪影严重影响了对断层结构的判断,使图像质量严重下降,难以达到无损检测、医疗诊断等目的。因此需要有效的方法从图像域或投影域进行校正。人们提出许多方法来校正金属伪

影^[1]。其中最自然的想法是对引起伪影的投影值进行插值。Lewitt和Bates提出了用一种特殊的函数进行插值^[2]的方法,后来又提出了Chebyshev多项式的差值法。Kalender等人只采用线性插值^[3],Lonn和Crawford在线性插值的基础上添加了一些辅助处理。ZHAO Shiyong等人提出了对投影数据的小波系数线性插值的方法^[4]。林宙辰等采用多项式插值^[5]。此外,也有采用迭代算法进行图像重构,比如Medoff等提出迭代滤波反投影法^[6]和WANG G

收稿日期: 2005 - 03 - 13

作者简介: 谷建伟(1979 -),男(汉),清华大学工程物理系核信息获取与处理研究室,硕士研究生

研究方向: CT图像中伪影的校正和前沿重建算法的分析, E-mail: gujianwei99@mail.tsinghua.edu.cn

等人提出的迭代代数重建法^[7]。XA Dan还提出了一种局部迭代的混合算法^[8]。

在CT系统特别是工业CT系统中,由于数据量较大,运算速度要求高,所以迭代算法很难实际使用,人们更倾向于选择插值算法。现在的插值算法^[4,8,9]无论采用什么样的插值方式,都有一个很重要的再投影步骤,即通过对阈值分割出的金属区域再投影,来确定投影空间中金属投影的范围。然后对该范围内的金属投影在插值的基础上进行处理得到校正后的数据。实际上,在这些算法中,分割出的金属区域^M代表了完整的金属信息,仅仅被用作确定金属投影范围,然后试图通过其他方法恢复部分金属信息。金属信息恢复的过程就是在插值的基础上处理投影数据的过程,这个过程增加了整个算法的复杂度和计算量。

为了在有效校正金属伪影的基础上降低算法的复杂度、减少计算量以提高整个算法的运行速度,本文提出一种快速校正方法,即通过对^M再投影确定金属投影范围后,进行插值,然后直接重建图像。最后在重建图像中插入灰度调整后的^M。数值模拟和实际的CT实验证明,相比较其他方法,该方法可以更快、更简的实现CT图像中金属伪影的校正,不仅可以消除大多数金属伪影,而且还很好的保留了金属信息。

1 算法设计

该算法的校正步骤与现在许多校正算法^[4,8,9]有些类似,即对原始数据直接重建,在得到的含有金属伪影的图像中分割出金属区域^M,对此再投影得到金属投影范围;对该范围内的投影校正后重建。不同之处在于,获取金属投影范围后,对插值后的数据不再作处理而是直接重建图像,并在重建的图像中插入灰度调整后的^M。下面从四个步骤来说明算法设计过程。

1.1 确定金属物体投影区域

如果检测对象中只含有一个金属物体,那么可以直接在投影空间对数据微分,通过判断极值来确定金属投影的范围。但是对于含有多个金属物体的检测对象,这样的判断方法很难实施。下面的方法不仅适合于单个金属物体投影范围的判断,也适合多个金属物体投影范围的判断。

从探测器获取数据^I和^{I₀}后,得到

$$I = I_0 e^{-\mu dx} \text{ 和 } g = \log I_0 - \log I$$

对投影数据^{g}进行重建,得到一幅含有金属伪影的图像^{f(x, y)}。通过合适的灰度阈值^s分割出只含有金属区域的图像^M:

$$f_M(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & f(x, y) \leq s \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中^{f_M(x, y)}代表图像^M在位置^(x, y)处的灰度值。对图像^M利用旋转像素坐标系的方法进行投影,便可得到投影空间^{g}中金属投影区域^{R^M}在每个投影角度下的边界^[p, q]。

1.2 插值校正

实际上,投影空间^{g}中区域^{R^M}内的投影值由金属投影^{g^M}和相应扫描角度下的非金属投影^{g^N}两部分组成。^{g^N}可由线性插值后的结果^{g^L}来代替

$$g^N(\theta) = g^L(\theta),$$

$$g^L(\theta) = \frac{q - \theta}{q - p} g(p) + \frac{\theta - p}{q - p} g(q)$$

既然金属伪影是由金属很大的投影值引起,那么,简单的取

$$g^M(\theta) = 0,$$

其中^[p, q],便可消除金属投影的影响,认为投影数据全由非金属物体的投影组成。于是,角度下校正后的投影表达式如下

$$g^R(\theta) = g^M(\theta) + g^N(\theta) = g^L(\theta).$$

经过校正后,每个扫描角度下用来重建的投影数据^{g^E}为

$$g^E(\theta) = \begin{cases} g^R(\theta), & \theta \in [p, q] \\ g(\theta), & \theta \notin [p, q] \end{cases}$$

1.3 重建图像

对校正后的投影数据^{g^E}利用滤波反投影(FBP)算法进行重建得到图像^{f(x, y)}。

1.4 图像补偿

在图像^{f(x, y)}中,原来有金属的区域会变成一个暗斑(见图2(c)),这是由线性插值的不光滑性引起的。这样的图像虽然消除了绝大多数金属条状伪影,但是缺少了金属信息。所以需要图像补偿,恢复金属信息。通过对原始重建图像^{f(x, y)}灰度的合理拉伸处理,分割图像得到清楚的金属区域^M(见式(1)),在图像^{f(x, y)}中插入该区域

$$f^f(x, y) = \begin{cases} f_M(x, y), & (x, y) \in M \\ f(x, y), & \text{其他} \end{cases}$$

便可得到补偿后的校正图像。

综上所述,本文的算法如图1所示。

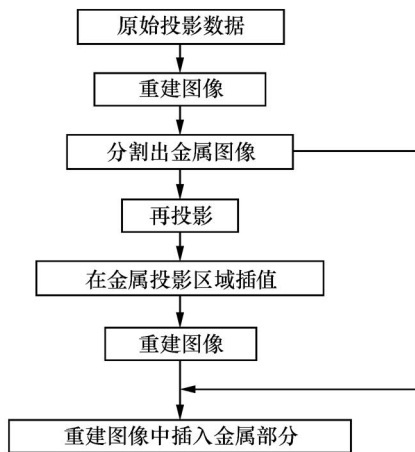


图1 算法流程

2 实验验证

从数值模拟和实际的微焦点CT实验两个方面对本文的算法进行验证。

2.1 数值模拟

模型参数见表1。序号为1、2的两组参数代表两个金属区域(见图2(a))。采用平行束解析法模拟投影数据。取0~180度共180个投影角度,步长为0.5度;探测器数目为512个。得到的投影数据为360×512的矩阵,重建图像大小为256×256。

表1 数值模型参数

序号	横坐标	纵坐标	长轴	短轴	旋转角度	吸收系数
1	-0.705	0	0.075	0.075	0	53.5
2	0.705	0	0.075	0.075	0	53.5
3	0	-0.2	0.350	0.250	0	1.5
4	0	0.2	0.350	0.250	0	-1.5
5	0	0	0.960	0.850	0	4.0

在数值模拟中,我们可以对X射线能谱的硬化效果通过二次多项式的方法进行校正^[10,11]。校正多项式为

$$h(x) = x + c(x - a)^2 a(x), \quad (2)$$

其中 $a(x) = \text{sgn}(x - a)$, $x > (a, \quad)$ 。该方法认为只有当投影值 x 超过某一阈值 $a > 0$ 时硬化才会发生,并且硬化幅度为 $c > 0$ 。所以可以通过求式(2)的反函数来模拟硬化后的投影数据^[4],即就是

$$h^{-1}(x) = x - \frac{2c(x - a) + 1 - \sqrt{4c(x - a) + 1}}{2c} a(x),$$

我们取 $a = 10$, $c = 0.5$ 。

图2是数值模拟的实验结果。图2(a)是理想的模型图,没有任何伪影。图2(b)是不作任何校正直接利用FBP算法重建的结果。可以看到,在金属区域的周围出现极亮的辐射状伪影,并且两个金属之间出现暗带。图2(c)是经过线性插值后直接重建的结果。可以看出线性的插值方法不但有效的去除了辐射状条状伪影,而且也很好的校正了硬化引起的暗带伪影。图中的两个暗斑便是原来的金属区域。图2(d)是对图2(c)进行图像补偿后的结果。可以看到该图不但有效的校正了金属伪影,而且保留了金属区域的信息,从而恢复了图像的完整。

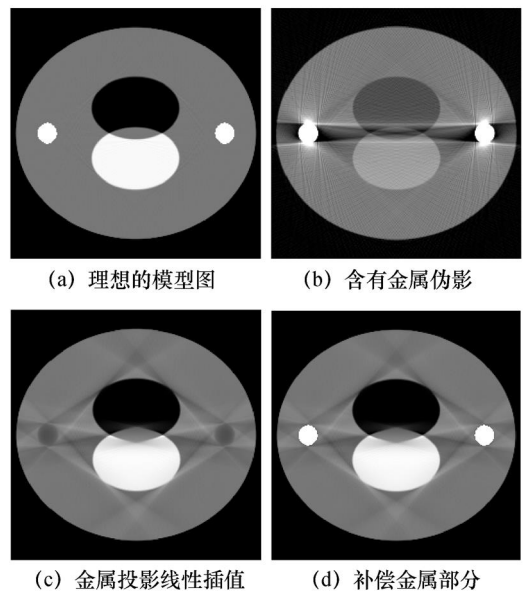


图2 数值模拟下的金属伪影校正效果

2.2 微焦点CT实验

该实验中,使用了一个含有铁钉的玩具模型,对其用微焦点圆轨道锥束CT(非螺旋)进行扫描并断层重建。CT的工作电压为70kV,工作电流为80μA。扫描360度,步长1度。每个扫描角度下获取768个投影数据。为了突出感兴趣的区域,对投影数据进行剪裁,只对一部分投影数据重建。重建采用滤波反投影的方法。重建的图像大小为256×256,结果见图3。

可以看到图3(a)由于金属的存在而出现了强烈的辐射状的金属伪影,严重影响了对金属周围结构的判断。经过线性插值的校正,条状伪影基本上得到有效的去除,但是金属信息也被清除了(见图3(b))。图3(c)是对图3(b)进行图像补偿的结果,可以看到金属信息得到很好的恢复,实现了图像的完整。

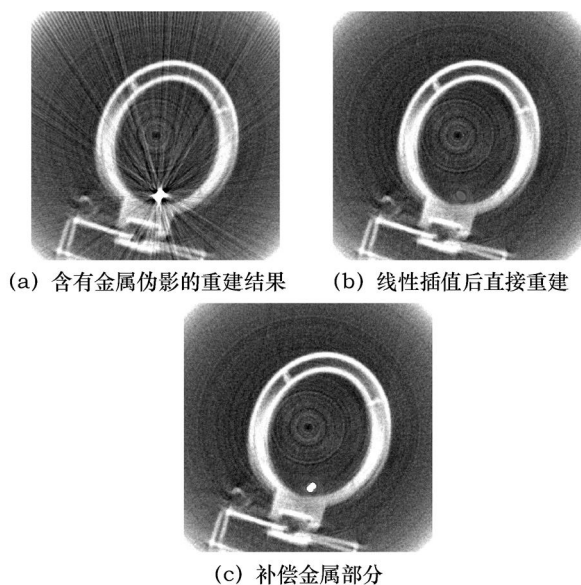


图3 微焦点CT对实物模型扫描重建的结果

3 结论

本文采用的算法通过对投影空间中金属投影区域的判断和对金属投影值的直接线性插值来校正金属伪影,并在重建的图像中补偿了金属部分的信息。与现在的许多插值算法^[4,8,9]相比,本文的算法简化为对金属投影插值后直接重建而不作其他过多的处理,从而降低了计算复杂度,提高了整个算法的实现速度。另外,在重建结果中插入金属部分,从而恢复了图像的完整而不是留下校正后的暗斑^[5]。此外,本文算法的主要参数为确定金属区域的灰度阈值 s ,大大减少了多参数引起的计算复杂度,降低了程序调试的繁琐程度,提高了算法的运行速度。数值模拟实验和微焦点CT实验验证了该算法的校正金属伪影的有效性。基于以上优点,本文方法具有较高的实用价值。

参考文献

- [1] 谷建伟,张丽.圆轨迹锥束CT的伪影成因和校正方法综述[C].北京:CT和三维成像学术年会论文集,2004.12-16
- [2] Lewitt RM, Bates R H. Image reconstruction from projections(): Projection completion methods [J]. *Optik*, 1978, 50: 189 - 204.
- [3] Kalender W A, Hebel R, Ebersberger J. Reduction of CT artifacts caused by metallic implants[J]. *Radiology*, 1987, 164(2): 576 - 577.
- [4] ZHAO Shiyong, Douglas D. Robertson, et al X-ray CT metal artifacts reduction using wavelets: an application for imaging total hip prostheses[J]. *IEEE Trans on Medical Imaging*, 2000, 19(12): 1238 - 1247.
- [5] 林宙辰,石青云.用四次多项式插值消除医用X射线CT中的金属伪影[J].*中国图像图形学报*, 2001, 6(A)(2): 142 - 147.
- [6] Medoff B Petal. Iterative convolution backprojection algorithms for image reconstruction from limited data [J]. *Journal of Optical Society of America*, 1983, 73(11): 1493 - 1500.
- [7] WANG G, Donald L Snyder, Joseph A O Sullivan, et al Iterative deblurring for CT metal artifact reduction [J]. *IEEE Trans on Medical Imaging*, 1996, 15(5): 657 - 664.
- [8] XIA Dan, Roeske John C, YU Lifeng, et al A hybrid approach to reducing computed tomography metal artifacts in intracavitary brachytherapy [J]. *Brachytherapy*, 2005, 4(1): 18 - 23.
- [9] CHEN Laigao, Liang Yun, George A Sandison, et al, A novel method for reducing high attenuation object artifacts in CT reconstructions [J]. *Proceedings of SPIE*, 2002, 4684: 841 - 850.
- [10] P Joseph, R Spital, A method for correction bone induced artifacts in computed tomography scanners [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 1978, 2: 100 - 108
- [11] P Seitz, P Ruegsegger, CT bone densitometry of the anchorage of artificial knee joints [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 1985, 9: 612 - 622.