

计算机辅助断层成像

南京工学院生物医学工程系 卢建宇

摘 要

本文叙述了几种主要的计算机辅助断层成像,并且介绍了这些CT成像技术的一些应用和发尸现状。此外,还指出了现有CT成像物理上和数学上存在的一些问题。

一、引言:

计算机辅助断层成像(简称CT)发尸的历史虽不长,但已显示了强大的生命力。CT技术从射线诊断的领域扩尸到了各个领域,广泛地应用于地球物理勘探,天文学,工业材料无损检测,超声医学,以及显微科学等。可以用于CT成像的放射源也越来越多,如超声波,微波,核磁共振辐射,单光子辐射,正电子对辐射,以及地震波等。图象重建也从二维到三维,非时实到实时,低分辨率向高分辨率发尸。 α 射线CT的发明人于1979年获得了医学、生理学诺贝尔奖。^[1]

二、几种主要的CT的发尸概况:

1. α 射线CT:

α 射线CT,简称 α -CT,于1970年由英国EMI公司电子工程师 Hounsfield 首先研制成功,从而给放射诊断学带来了一场革命。^[1]此后,人们对 α -CT做了大量的完善工作。 α -CT可有以尸三种扫描方式,即平行射束扫描器方式,发散射束扫描器方式(扇形区反扇形扫描结构),以及锥形射束扫描装置。锥形射束扫描装置主要用于动态空间扫描图象重建器上,并直接用于三维图象重建。在图象重建方法上,根据 α 射线沿直线行进的特尸,发尸了几何光学重建理论。目前已有变换法和级数展开法两大类,它们在射束沿直线行进的物理过程中获得了很成功的应用。

α -CT的突出优点是图象分辨率高,但它也有许多不足之尸,如对人体的某些

注意共用仪
<作业线上。
流的互联。

南京工学院:
是其数据使

组织成像时的对比度还不够强烈；x-CT对人体的伤害作用不容忽视；此外，x-CT的成本较高。为了减少x-CT的伤害作用，目前人们已做了大量的工作试图减少x-CT的辐射剂量而又不致降低图象质量。例如采用减少投影数或采用不完全投影，然后用级数展开法进行图象重建。

2. 核磁共振CT(NMR-CT):

NMR-CT用于图象重建的参数可有：平衡磁化强度 $M_0(\vec{r})$ (equilibrium nuclear magnetization)，两个不同的弛豫时间 $T_1(\vec{r})$ 和 $T_2(\vec{r})$ 。它们与生物体内氢原子核分布情况有关。

NMR-CT有以下几个特点：(i) 很容易区别水肿和肿瘤，普通的CT则要在人体的相应部位注入造影物质才能进行区别(ii) 可以很方便地重建物体三维图象。人们也可以直接采集物体三维的数据，然后利用三维图象重建技术生成物体任意截面的象，这是NMR-CT的一个很突出的优点(iii) 人体中的超导体(如骨骼等)对NMR-CT的信号没有贡献，因而可以利用NMR-CT检查骨骼边缘的不正常组织(iv) NMR-CT最重要的应用之一是它可以检查中枢神经系统，其最主要的优点之一是可以显示组织的生化特性。

使用超导磁场的NMR-CT比使用有阻磁场的NMR-CT具有更优越的性能。用多核光谱学研究正常的良病变的新陈代谢过程，超导NMR-CT是唯一潜在的手段。此外，超导NMR-CT可用于磷光谱图的研究和质子光谱移动的研究，这些研究都对进一步了解生物组织的特性有重要的意义。因此，超导NMRCT具有广阔的应用前景，颇受人们的重视。总之，可以预料，NMR-CT将在医疗诊断图象方面引起一场无声的变革。^[2]

3. 单光子放射CT(SPECT)和正电子CT(PECT):

单光子放射CT和正电子CT都是透视型CT，即剂的分布是我们重建的对象。将 γ -射线或正电子注入人体，然后利用外部测量到的投影数据对感兴趣的人体器官内部的射线剂浓度进行图象重建。目前，SPECT的检测器都装有准直器，以限定射线的方向；PECT的检测器都使用检测器对，测量相反方向辐射的一对正电子，并且不需要加准直器。^[3]

4. 超声CT(UCT):

自
由
选
取
目
录
三
CT
和
论
接
著
建
明
四
1.

此外, α -CT 试图减小 α -完全投影, 利用超声波进行断层成像有许多种形式。最早利用连续波对物体进行透射成像, 使用与 α -CT 类似的几何光学重建法对物体某一断层内的声衰减或声速分布进行重建。除了透射型 UCT 外, 还有发射和接收使用同一换能器, 并依用脉冲波的反射型 UCT。此外, 还出现了显微级域内的断层成像技术, 即扫描断层声显微术 (STAM)。从某种意义上说, 利用脉冲回波成像的 B 超也是一种 UCT。

与 α 射线相比, 超声波的波长很长, 因此它在人体组织中传播时的衍射现象较严重。为了考虑衍射的影响, 出现了衍射 CT。衍射 CT 的重建法是在考虑散射情况下的重建法, 它采用 Born 或 Rytov 近似。

对于 UCT, 目前正处于发片阶段, 有几个问题需要解决: (i) 研究存在多次散射的反演问题和相应的重建法 (ii) 由于生物组织的散射特性是各向异性的, 因此要解决各向异性的测量值分布参数的图像重建 (iii) 使 UCT 获得临床应用, 以及 UCT 在无损伤和显微应用中提高分辨率。

存在多次散射下物体分布参数的反演是困难的, 它是“病态” (ill-posed) 问题。需要应用各种方法, 如最大熵方法 (maximum entropy), 依用尽可能多的先期知识设法使之转化成“非病态”问题。

三. 几何光学重建理论:

几何光学重建理论适用于射线沿直线行进的物理过程, 它在许多 CT 成像 (如 α -CT, PET, SPECT, NMR-CT 等) 中都有成功的应用。因此, 几何光学重建理论的研究和发片是 CT 成像研究中必不可少的一个组成部分。

几何光学重建理论既适用于二维也适用于三维的图像重建。几何光学重建理论可分成变换法和级数展开法两大类。变换法包括: (i) 卷积—反投影 (ii) 傅氏反变换 (iii) p -波层图法 (Rho-filtered Layergram) (iv) 角向谐波法 (angular harmonics) 等。级数展开法主要有: (i) 代数重建法 (ART) (ii) 二次优化法 (iii) 非迭代级数展开重建法 (Noniterative series expansion methods) 等。

变换法在商品扫描器中广泛应用, 效果好, 速度快; 但越来越多的证据表明, 级数展开法在各种重要和非标准的应用中有很大的潜力。^{[4][5]}

四. CT 成像在物理、数学上的问题:

1. 物理上的问题:

此外, α -CT 试图减小 α -完全投影,

ium nuclear
氦原子核分

要在人体的
象。人们也
任意截面的
) 对 NMR-CT
) NMR-CT 最
可以显示组

能。用多核
手段。此外,
即对进一步
用前景, 显
场无声的

的对象。将
兴趣的人体
器, 以研究
对正电子,

CT在物理上有探测器等具有非线性、噪声、数据量不足、数据不精确,以及射束宽度等问题。文献[1]对X-CT物理上的问题作了比较完全的总结。上述有些问题可以通过技术进步逐步加以解决;而有些则只能逼近而不能完全做到,如理论上要求投影数无限多才能实现X-CT的唯一重建,而这在实际上是做不到的。

2. 数学上的问题:

目前几种数学上的变换法应用于CT图象重建上的有:适用于二维CT和NMR-CT的拉唐(Radon)变换法;适用于特殊三维及三维扫描方法的X-射线变换法;适用于二维SPECT和PECT的衰减拉唐变换法等。它们在数学上仍有一些有待解决的问题:如在多大程度上物体可由测量到的数据唯一重建;由于测量数据不可避免存在误差,在多大程度上物体的图象重建是稳定的;研究由各种实际问题提出的重建方法。目前已知可以唯一重建的情况有:“完全投影可以唯一重建,而“不完全”投影则不行;“空心”投影也能唯一重建(如X-CT中,若物体内部有一铁块,将形成“空心”投影);ECT逆类选态型CT在一定程度上也能进行衰减系数的唯一重建。^{[2][7]}

五.参考文献:

1. L. Axel et al., «Applications of computerized tomography to diagnostic radiology», Proc. IEEE, Vol. 71, No. 3, 1983.
2. W.S. Hinshaw et al., «An introduction to NMR imaging: from Bloch equation to imaging equation», Proc. IEEE, Vol. 71, No. 3, March 1983, pp. 338-350.
3. G.F. Knoll, «Single-photon emission computed tomography», Proc. IEEE, Vol. 71, No. 3, 1983.
4. R.M. Lewitt, «Reconstruction algorithms: transform methods», Proc. IEEE, Vol. 71, No. 3, March 1983, pp. 390-405.
5. Y. Censor, «Finite series-expansion reconstruction methods», Proc. IEEE, Vol. 71, No. 3, March 1983, pp. 409-419.
6. G.T. Herman, «Image reconstruction from projections», New York, Academic Pr. 1980.
7. A.K. Louis and F. Natterer, «Mathematical problems of computerized tomography», Proc. IEEE, Vol. 71, No. 3, March 1983, pp. 379-389.

作者简介:

作者是南京工学院生物医学工程系博士生,指导老师是韦钰教授,目前主要从事超声计微机辅助断层成像的研究工作。