

低辐射 CBCT 系统成像时序的控制与实现

罗守华¹, 崔燕南¹, 薄腾飞¹, 李光¹, 陈功²

1. 东南大学生物科学与医学工程学院, 南京 210096
2. 江苏省中医院医学信息工程部, 南京 210029

摘要 简述了锥束 CT(CBCT)的工作原理,分析了 X 射线源连续照射和脉冲式照射两种成像方式的优劣,采用脉冲式照射成像方式,完成了低辐射 CBCT 系统成像的设计。在此基础上,实现了 PaxScan 2520 平板探测器的内、外两种读图触发模式下的 X 射线成像。实验结果表明,相比于 X 射线源连续照射的成像方式,脉冲式照射成像较大地减少了 X 射线辐射时间,提高了 CBCT 的安全性能。内、外两种触发模式下的脉冲式 X 射线成像对于图像的质量没有区别,模式的选择取决于是否需要主动控制 X 射线的发射。

关键词 CBCT; 脉冲式 X 射线成像; 低辐射; PaxScan 2520

中图分类号 TP302

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.05.002

Control and Realization of Time Sequence for Low-dose Cone-Beam CT Imaging System

LUO Shouhua¹, CUI Yannan¹, BO Tengfei¹, LI Guang¹, CHEN Gong²

1. School of Biological Science and Medical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China
2. Information Department, Jiangsu Province Hospital of Traditional Chinese Medicine, Nanjing 210029, China

Abstract The basic working principle of Cone Beam Computer Tomography (CBCT) is briefly described, the advantages and disadvantages of both continuous and pulsed X-ray imaging methods are analyzed, and the pulsed X-ray imaging method is adopted to implement the design of low-dose CBCT. On the basis of this, the internal and external trigger modes of PaxScan 2520 flat panel detector are realized. The experiment results show that the method of continuous X-ray imaging needs dozens of seconds for the process rotating a circle, in the meanwhile, the method of pulsed X-ray imaging only needs about four seconds for doing same job. In a word, pulsed X-ray imaging reduces the X-ray radiation time considerably and improves the safety performance of CBCT significantly. Besides, pulsed X-ray imaging with internal and external trigger modes has no difference in terms of image quality. The choice for the modes depends on whether or not needs active control for X-ray emission.

Keywords CBCT; pulsed X-ray imaging; low radiation dose; PaxScan 2520

0 引言

锥束 CT(Cone Beam Computer Tomography, CBCT), 也可称为锥形束容积断层扫描技术 (Cone Beam Volumetric Tomography, CBVT), 其成像系统称为锥束容积成像 (Cone Beam Volumetric Imaging, CBVI)。目前, CBCT 已广泛应用于齿槽外科、正畸科、颌面外科、种植科、关节科、牙体内科、牙周科等多种口腔临床专业^[1], 辅助临床医生准确诊断、指导临

床治疗等, 已经成为近几年来口腔研究的热点之一。

CBCT 的工作原理是由 X 射线源产生低能锥形束射线, 与平板探测器同步围绕投照体做环形数字摄影, 计算机对平板探测器采集到的图像进行重建, 得到断层图像, 其工作原理图如图 1 所示。CBCT 机架由 X 射线源、平板探测器、机械臂组成, 它是 CBCT 系统的核心。一般, CBCT 机架旋转一周的总角度是 200°—360°。在机架旋转的过程中, X 射线源每隔

收稿日期: 2012-01-31; 修回日期: 2012-02-05

基金项目: 苏州市 2009 年科技计划工业专项 (ZXG0918)

作者简介: 罗守华, 副教授, 研究方向为图像处理, 电子信箱: luoshouhua@seu.edu.cn

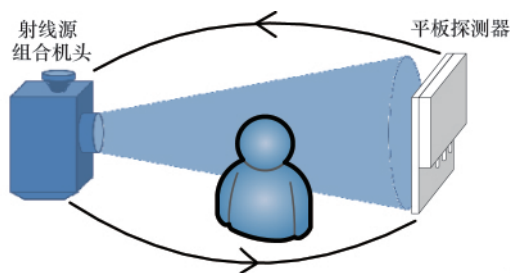


图1 CBCT工作原理

Fig. 1 Working principle of CBCT

一定的角度,对投照体进行投影成像。本文采用的 PaxScan 2520 平板探测器,每幅图像的曝光时间是 4ms,也即每个间隔角度的 X 射线曝光时间。

CBCT 在临床中应用广泛,患者受到的辐射剂量也是值得重视的安全问题。球管电流和曝光时间的乘积($\text{mA}\cdot\text{s}$)决定了一次曝光的总 X 射线数量,目前减少辐射剂量的主要策略是减少每张图像的 $\text{mA}\cdot\text{s}$ ^[2]。因此,采用何种 X 射线照射方式减少曝光时间成为 CBCT 的研究重点。

由于图像重建需要采集不同角度的图像,因此 X 射线源在围绕投照体旋转一周扫描的过程中,有连续照射和脉冲式照射两种成像方式。连续照射方式即在扫描过程中 X 射线源一直打开,这种方式的优点是操作简单,缺点是增大了投照体受到的辐射剂量;脉冲式照射方式在每个角度采集图像时打开 X 射线源,其余扫描时间关闭 X 射线,这种方式减少了投照体受到的辐射剂量,但需要严格控制 X 射线源和平板探测器的同步工作。

部分国内外 CBCT 系统采用了 X 射线连续照射方式,此方式要求机架具备良好的机械性能,快速旋转以减少 X 射线辐射时间^[3],且对实时成像的平板探测器要求很高,导致 CBCT 成本较高。平板探测器成像过程分为两步:第一步,把入射 X 射线光子转换为电荷;第二步,进行读出操作,读出每个像元的数字信号。采用 X 射线连续照射方式时,要求平板探测器积累电荷时间短,但同时降低了数字图像的信噪比。

本文采用 X 射线脉冲式照射方式,对成像的每个角度进行曝光控制。分析了平板探测器内触发和外触发两种模式的时序差异,实现了脉冲式照射方式下的两种触发模式成像。

1 CBCT 成像系统的时序控制

1.1 X 射线源与平板探测器的同步

本文采用美国 Varian 公司生产的平板探测器 PaxScan 2520。它是世界上第一个具有实时成像功能的非晶硅平板探测器,图像采集速度可达 30 帧/s,可以满足 CBCT 实时成像的需求(见 Varian Medical System, PaxScan 2520 VIP-9 System & Service Guide, 2000)。

PaxScan 2520 平板探测器完成一帧图像采集的时间分为两部分:一部分是按图像行一次读出图像数据的读出时间,这个时间在特定工作模式下为固定的数值;另一部分为帧回

归消隐(vertical blanking),与采集的帧率有关^[4]。

如果 X 射线脉冲在帧读出时间出现,由于逐行读出的工作方式,可能导致各行像素的 X 射线照射时间不一样,采集到的数字图像上出现明暗不同的条带^[5],影响图像质量。为了避免这种现象,需要将 X 射线脉冲严格限制在帧回归消隐时间内,使得图像在读出时间内没有 X 射线的照射,从而保证了图像所有像素受 X 射线的照射时间一样。因此,需要严格控制 X 射线源和平板探测器的同步工作,如图 2 所示。

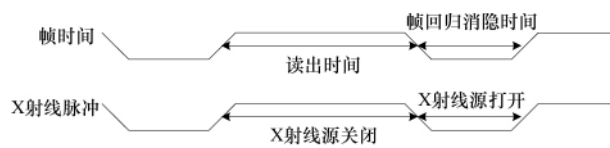


图2 同步工作示意

Fig. 2 Scheme of synchronization working

1.2 PaxScan 2520 的读图触发模式

平板探测器的读出操作(readout)由读触发信号启动。PaxScan 2520 的读触发模式分为内触发模式(internal trigger mode)和外触发模式(external trigger mode)两种。

内触发模式的读触发信号由探测器自己产生,故图像采集的频率由探测器自身决定。外触发模式的读触发信号由外部电路来提供(TTL 电平)^[6],通过外部电路控制读触发信号的产生,从而控制平板探测器采集图像的频率。当 CBCT 需要考虑机械臂旋转速度因素,自定义平板探测器的采集频率时采用外触发模式更加合理。

1.3 两种触发模式下的时序分析

PaxScan 2520 平板探测器两种触发模式下的时序图如图 3 所示。可以看出,内触发模式下,X 射线脉冲信号 COM_RX 的产生及频率由平板探测器的读触发信号 expose_OK 决定,因此图像采集的频率完全取决于 expose_OK 信号。外触发模式下,可以主动控制 COM_RX 信号的产生和频率,由 COM_RX 的同步信号 user_sync 触发 expose_OK 信号的产生,因而可以主动控制图像采集的频率。

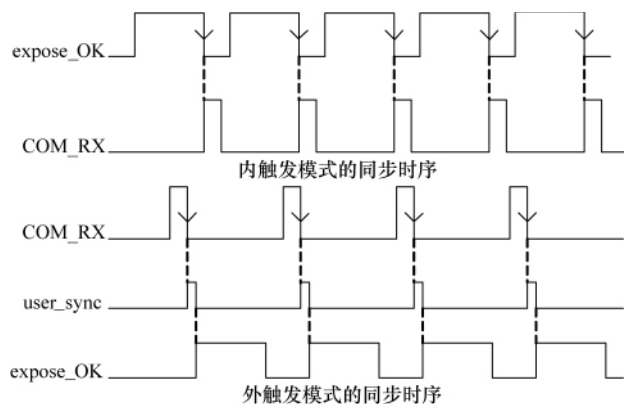


图3 两种触发模式时序图

Fig. 3 Timing diagram of two trigger modes

2 两种触发模式下的时序实现

2.1 程序控制流程

两种触发模式下,X射线源和平板探测器同步工作^④的程序控制流程如图4所示。

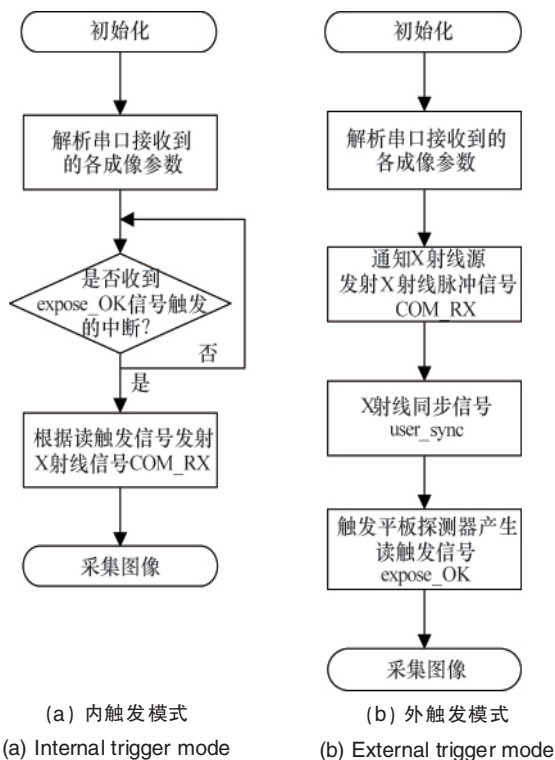


图4 两种触发模式下程序流程图

Fig. 4 Program flowchart of two kinds of trigger modes

2.2 时序实验结果

实验采用60kV管电压,3mA管电流条件下的X射线脉冲成像,用示波器截取的内触发和外触发模式下的同步时序分别如图5和图6所示。

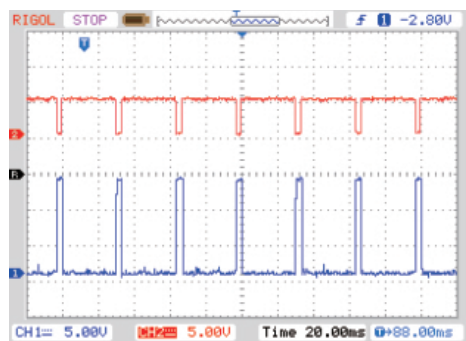


图5 内触发模式下同步时序实验结果

Fig. 5 Synchronous timing experiments results with internal trigger mode

图5中红色信号为平板探测器读触发信号 expose_OK,蓝色信号为X射线信号 COM_RX,X射线脉冲宽度为4ms。

图6(a)蓝色信号为X射线信号 COM_RX,X射线脉冲宽度为10ms。红色信号为X射线同步信号 user_sync;(b)图红

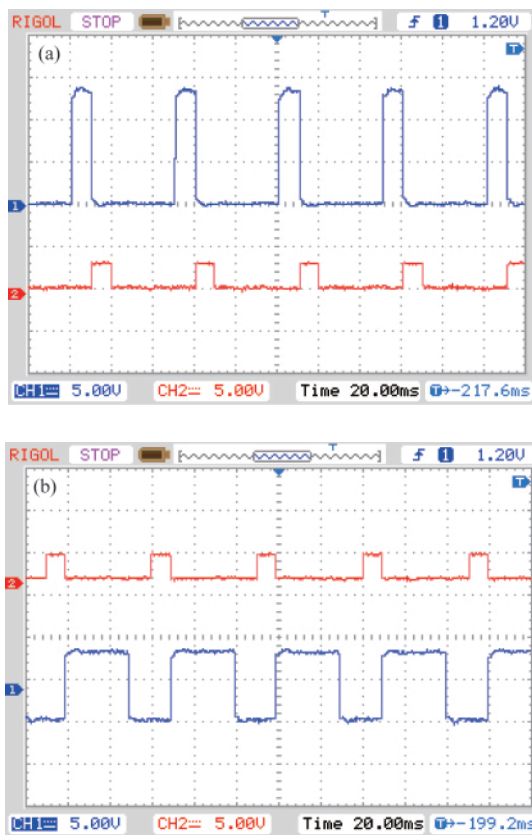


图6 外触发模式下同步时序实验结果

Fig. 6 Synchronous timing experiments results with external trigger mode

色信号为X射线同步信号 user_sync,蓝色信号为平板探测器读触发信号 expose_OK。

2.3 成像实验结果

利用Varian软件,采集到石膏牙床的X射线图像如图7所示。

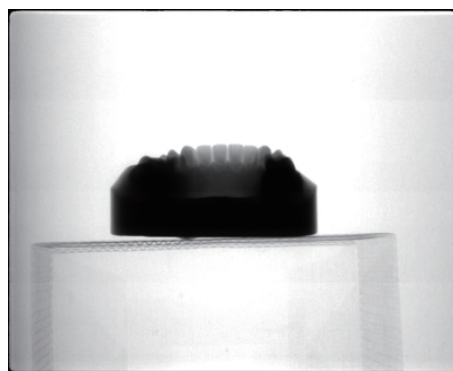


图7 X射线脉冲成像实验结果

Fig. 7 Experiments results of pulsed X-ray imaging

由石膏牙床CT图像的拍摄效果可知,X射线源脉冲式照射成像方式下内、外两种触发模式对于图像的质量没有差别,它们的区别仅仅在于采集图像的频率控制。

3 讨论与结论

本文分析了 X 射线源连续照射和脉冲式照射两种成像方式,对比了两种方式下照射体受到的辐射剂量。实验结果表明,采用脉冲式照射成像方式时,每张图像的 X 射线曝光时间为几毫秒,机器旋转一周采集图像的整个过程中,X 射线辐射总时间也仅数秒。相比于连续照射的曝光时间数十秒,本文采用的 X 射线脉冲成像方式大大地减少了 X 射线辐射剂量,实现了低辐射 CBCT 系统成像的设计,提高了 CBCT 的安全性能。

本文在实现了 X 射线脉冲式成像的基础上,重点讨论了 CBCT 机架部分 X 射线源与平板探测器的同步工作,实现了 PaxScan 2520 平板探测器的内触发和外触发两种模式下的 X 射线脉式成像。实验结果表明,同步程序运行稳定,内外两种读图触发模式下均可以获得相应频率的脉冲式 X 射线图像,满足了图像重建的要求。

低辐射 CBCT 系统还有待改进。例如从软件的角度优化重建算法^[1],减少图像重建所需的数据,从而减少辐射时间;从机械的角度改进 CBCT 机架的机械性能,使其与 X 射线源及平板探测器更好地配合完成工作等等。

参考文献 (References)

- [1] 刘怡, 锥束 CT 的发展与临床应用[J]. 口腔正畸学, 2008, 15(4): 189-193.
- [2] Liu Yi. *Chinese Journal of Orthodontics*, 2008, 15(4): 189-193.
- [2] Han X, Pearson E, Bian J, *et al.* Preliminary investigation of dose

- allocation in low-dose cone-beam CT[C]. 2010 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record (NSS/MIC), Oct 30 2010-Nov 6 2010, Knoxville, TN, US, doi: 10.1109/NSSMIC.2010.5874137, 2010: 2051-2054.
- [3] Steinke M F, Bezak E. Technological approaches to in-room CBCT imaging [J]. *Australasian Physical & Engineering Science in Medicine*, 2008, 31(3): 167-178.
 - [4] 肖永顺, 陈志强, 张丽, 等. 基于数字平板探测器的高能 X 射线成像实验研究[J]. 光学技术, 2003, 29(6): 660-663.
 - Xiao Yongshun, Chen Zhiqiang, Zhang Li, *et al.* *Optical Technology*, 2003, 29(6): 660-663.
 - [5] 王庆根. 基于 PaxScan 2520 平板探测器的 X 射线成像处理系统研究 [D]. 北京: 北京机械工业自动化研究所, 2005.
 - Wang Qinggen. Study of X-ray imaging system based on PaxScan 2520 flat panel detector [D]. Beijing: Beijing Machinery Industry Automation Research Institute, 2005.
 - [6] 郭彦斌, 胡文涛, 陈忠. PaxScan 4030 与脉冲式 X 射线源同步问题的探讨[C]//2006 全国荷电粒子源、粒子束学术会议论文集, 北京: 中国电工技术学会, 2006: 225-227.
 - Guo Yanbing, Hu Wentao, Chen Zhong. The synchronization problem between PaxScan 4030 and X-ray source [C]//Charged Particle Beam Source National Conference Proceedings, Beijing: China Electrotechnical Society, 2006: 225-227.
 - [7] Bian J, Han X, Sidky E Y, *et al.* Investigation of low-contrast tumor detection in algorithm-enabled low-dose CBCT [C]. 2010 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record (NSS/MIC), Oct 30 2010-Nov 6 2010, Knoxville, TN, US, doi: 10.1109/NSSMIC.2010.5874453, 2010: 3479-3482.

(责任编辑 朱宇)

· 学术动态 ·

第六届中国传感器网络学术会议

由中国计算机学会主办、中国计算机学会传感器网络专业委员会协办、南京邮电大学承办和安徽师范大学协承办的第六届中国传感器网络学术会议 (CWSN2012) 将于 2012 年 10 月 25—27 日在中国黄山举行, 现征集传感器网络相关领域有创新性研究的论文。

征稿范围: (1) 无线传感器网络节点系统的理论和技术; (2) 无线传感器网络的基础设施的理论和技术的理论和技术; (3) 无线传感器网络通信协议的理论和技术的理论和技术; (4) 无线传感器网络数据管理和中间件的理论和技术的理论和技术; (5) 无线传感器网络软件开发、测试与调试工具以及模拟环境; (6) 移动传感器网络相关理论与技术; (7) CPS; (8) 物联网; (9) 无线传感器网络应用系统。

论文截止日期: 2012 年 4 月 20 日。

联系电话: 025-83492470; 18951801822; 13913870812。

电子信箱: cwsn2012@vip.126.com。

大会网站: <http://cwsn2012.njupt.edu.cn>。