

PET 探测器数据获取与晶体识别

岳松¹, 佟林格², 尹永智², 裴曦¹

1. 中国科学技术大学物理学院, 安徽 合肥 230027; 2. 兰州大学核科学与技术学院, 甘肃 兰州 730000

【摘要】目的:旨在设计一个小像素PET成像系统,并获得用于断层扫描的晶体查找表。**方法:**对PCI-ADC系统获取的LYSO闪烁体(pitch_2.0 mm_10×10、pitch_1.6 mm_10×1)探头晶体位置分辨图像,采用分水岭算法完成图像分割任务,实现晶体识别。**结果:**实验中,pitch_2.0 mm_10×10、pitch_1.6 mm_10×10两种像素探头晶体能够全部识别;同时对华盛顿大学pitch_1.6 mm_20×20探头数据进行处理,没有观察到晶体粘附现象。**结论:**PET数据采集系统性能良好,分水岭算法能够识别不同的像素晶体,为后期断层扫描和三维重建提供了基础。

【关键词】正电子断层发射成像;晶体识别;分水岭算法;图像分割

【中图分类号】R318.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)12-1456-05

Data acquisition and crystal identification for PET detector

YUE Song¹, TONG Lin'ge², YIN Yongzhi², PEI Xi¹

1. School of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China; 2. School of Nuclear Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: Objective To design a small-pixel PET imaging system and obtain the crystal lookup table used for computed tomography. **Methods** After the resolution images of the probe positions of LYSO scintillators (pitch_2.0 mm_10×10 and pitch_1.6 mm_10×1) were obtained by PCI-ADC system, watershed algorithm was employed to complete image segmentation and realize crystal identification. **Results** For the pixel probes of pitch_2.0 mm_10×10 and pitch_1.6 mm_10×10, all the crystals were identified. Meanwhile, the data of pitch_1.6 mm_20×20 from University of Washington were processed, and no crystal adhesion was observed. **Conclusion** The PET data acquisition system performs satisfactorily, and watershed algorithm is capable of identifying different pixel crystals, which provide a basis for the further computed tomography and three-dimensional construction.

Keywords: positron emission tomography; crystal identification; watershed algorithm; image segmentation

前言

正电子断层扫描成像(Positron Emission Tomography, PET)超高灵敏度的功能影像在肿瘤、心血管、脑功能等疾病超前影像诊断方面有巨大优势^[1-5]。PET探头通过 γ 光子入射晶体单元获取位置信息,进行晶体识别分辨,从而确定湮灭事件所在响应线,进行后期投影数据采集。

PET探头主要由闪烁晶体和光电倍增管耦合组成,正负电子湮灭产生的 γ 光子被探测器捕捉进行能量沉积,并转换为电信号,经后续核电子学放大、滤波整形、降噪等过程,输出后分别进行时间和能量信息甄别,以剔除非正常符合事件。闪烁晶体捕获湮灭光子的物理位置可由位置读出电路解码获得,并对应位置分辨图像上。理想情况下,这种对应关系是线性的,但是在噪声、空间非线性等因素影响下^[6], γ 光子与探测晶体相互作用位置呈现非线性关系。获得准确的 γ 入射晶体位置是后期成像正确的关键,为此,需建立晶体查找表,以确定对应关系。

在本实验中,利用MATLAB图像处理工具箱对PCI-ADC获取的pitch_2.0 mm_和pitch_1.6 mm_这两种10×10晶体阵列PET探头位置分辨灰度图像进行处理,并采用分水岭算法^[7-9]进行晶体分割识别,成功获得晶体阵列的识别结果;同时将识别算法应用于

【收稿日期】2019-08-20

【基金项目】国家重点研发计划(2017YFC0107500);国家自然科学基金(11575180);安徽省重点研究与开发计划(1804a09020039);兰州大学国家大学生创新创业项目(201610730077)

【作者简介】岳松,硕士研究生,从事核医学物理研究,E-mail: yuesong@mail.ustc.edu.cn

【通信作者】裴曦,E-mail: xpei@ustc.edu.cn

华盛顿大学 pitch_1.6 mm_20×20 晶体阵列探头位置分辨图像, 成功实现 20×20 阵列晶体识别。

1 材料与方法

1.1 数据获取

在本实验中, 搭建了 PET 探头数据获取系统。LYSO 闪烁体探测器光电信号产生后经初级放大、噪声抑制后进入读出电路产生 4 路信号, 然后进入型号为 N568E 低噪声主放大器, 进一步放大、整形、倒相后分为两组, 一组带有能量信息, 一组带有时间信息。带有时间信息的信号通过电子学插件(扇入/扇出、恒比定时、延迟、触发模块)产生逻辑触发信号输送给数据获取系统; 带有能量信息的信号直接输入 NI_Pcie-6361 数据采集卡, 进行峰值采集, 采样频率最高可达 500 kHz, 同时可进行采样点、采样频率实时调整。

实验中完成对整个系统的阻抗匹配、噪声抑制、波形基线处理、峰值采集、采样频率与波形采集数目选择等工作, 实验过程中电子学系统如图 1 所示。



图1 电子学系统

Fig.1 Electronics system

γ 光子位置计算由位置灵敏性光电倍增管的 A、B、C、D 路信号峰值计算获得。

$$X=A/(A+B) \quad (1)$$

$$Y=C/(C+D) \quad (2)$$

采集信号的位置、能量信息(X 、 Y 、Energy), 数据保存格式为 .txt, 送入 LABVIEW 进行处理, 分别获得 2.0 和 1.6 mm 像素的二维位置直方图, 图像矩阵大小为 256×256, 图像亮度(像素大小)与探测器响应次数成正比^[10]。理想情况下, PET 探头 $m \times n$ 大小的晶体阵列在光子捕获时, 各个晶体块位置响应呈现二维独立的高斯分布:

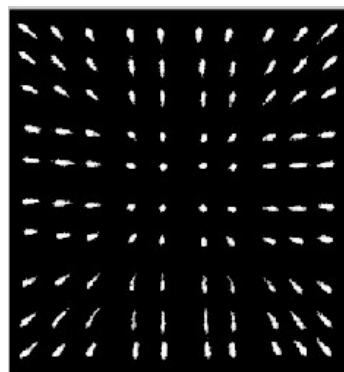
$$P_{ij}(x,y) = N(\mu_{ij}, \lambda_{ij}, \sigma_{ij}^2, \zeta_{ij}^2, 0) \quad (3)$$

其中, ij 为晶体位置标号; μ_{ij} 、 λ_{ij} 、 σ_{ij} 、 ζ_{ij} 为分布参数;

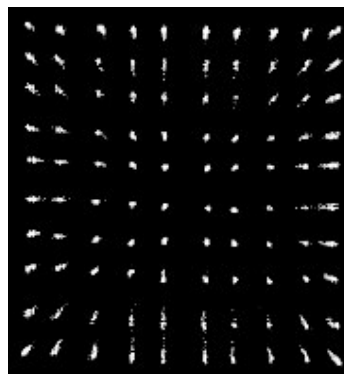
晶体在 x 、 y 方向相关性为 0。整个阵列在位置响应上呈现混合高斯分布^[8]:

$$P(x,y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{ij} P_{ij}(x,y) \quad (4)$$

在此情况下, 晶体阵列第 i 行 j 列块晶体响应强度变化应从晶体中心到边缘以二维高斯模型呈现逐渐减弱趋势, 但是在实验过程中, 闪烁光子的位置分辨计算结果受到系统噪声、电子学器件响应非线性、晶体物理特性不均匀等一系列干扰, 导致位置分辨出现无规则畸变, 呈现出统计学误差特性。实验结果如图 2 所示。



a: 2.0 mm 像素



b: 1.6 mm 像素

图2 两种像素探头二维位置分辨图

Fig.2 Resolution images of two-dimensional positions of two kinds of pixel probes

实验所用放射源为 Na-22, 两种像素晶体的能谱如图 3 所示。

1.2 分割算法

图像分割是图像处理技术的经典难题, 包括边缘提取、边界寻找、区域划分, 没有一种方法能完全适应所有分割问题, 这正是图像处理的难点, 晶体识别过程同样面临这样的问题。

近年来许多算法被应用于晶体识别分割工作, 包括基于图像阈值的分割、基于区域的分割、基于像素邻域处理的分割等, 而基于机器学习理论、人工智

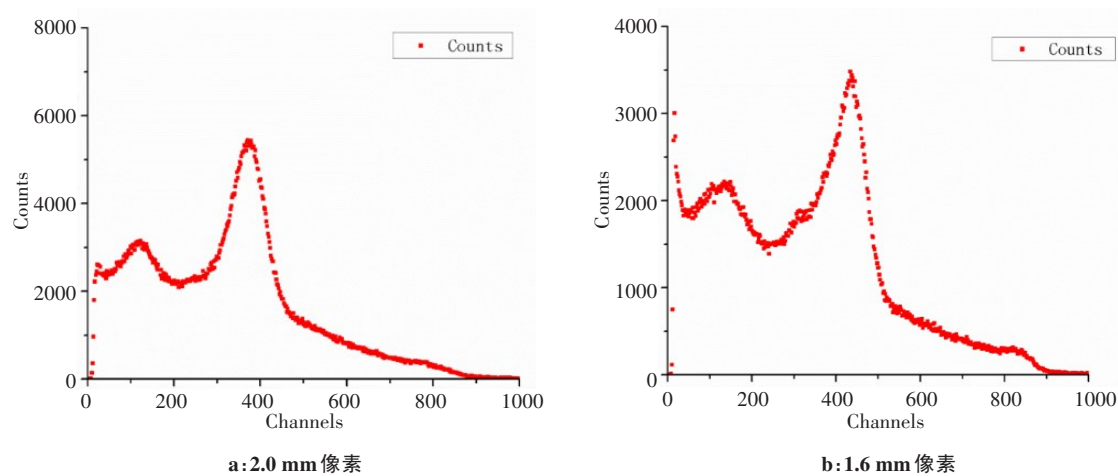


图3 两种像素探头Na-22能谱图
Fig.3 Na-22 energy spectra of two kinds of pixel probes

能发展起来的无监督像素聚类分割算法^[12-13]也趋于成熟,开始应用于PET研究中,并取得了良好的效果。分割过程中不同的算法偏重点、处理结果有很大差异性,部分算法之间存在着极强的互补性,分级融合分割可集成多个算法的优点^[14],已成为PET晶体识别的又一研究课题。

分水岭分割方法是一种基于拓扑理论的数学形态学分割方法,核心思想是将灰度图像看做三维地形拓扑表面,数字图像像素值 $f(x,y)$ 表示某点海拔高度,某一局部最小值及其边缘连通区域被看做汇水盆地,边界即为分水岭^[15-19]。分水岭算法的实现过程主要分两步,首先对像素的灰度级别进行从低到高排序,然后在从低到高实现淹没过程,对于每一个局部最小值在 h 高度的影响域采用先进先出结构进行判断和标注,这是一个迭代标注过程。

分水岭算法一般采用的方法为:首先用阈值限制梯度图像以达到消除灰度值微小变化产生的过度分割,获得适量区域;然后对这些区域的边缘点灰度级别进行从低到高排序,实现淹没过程,对梯度图像进行阈值处理时选取合适的阈值对最终的分割结果有很大影响,所以阈值的选取非常重要。

在本实验中,对图像进行预处理能更好地协调像素分布,提高分割效果,利用控制符标记的分水岭算法进行晶体分割识别,以便减少晶体粘连现象。

2 分割结果

图4和图5是识别程序对实验所得两种PET探头晶体阵列的识别结果。可以看到2.0 mm像素的在边缘分割效果上有较大的畸变,两幅分割结果在探头中间部分都较为规整,这与光子在探测器上的统计信息有关。

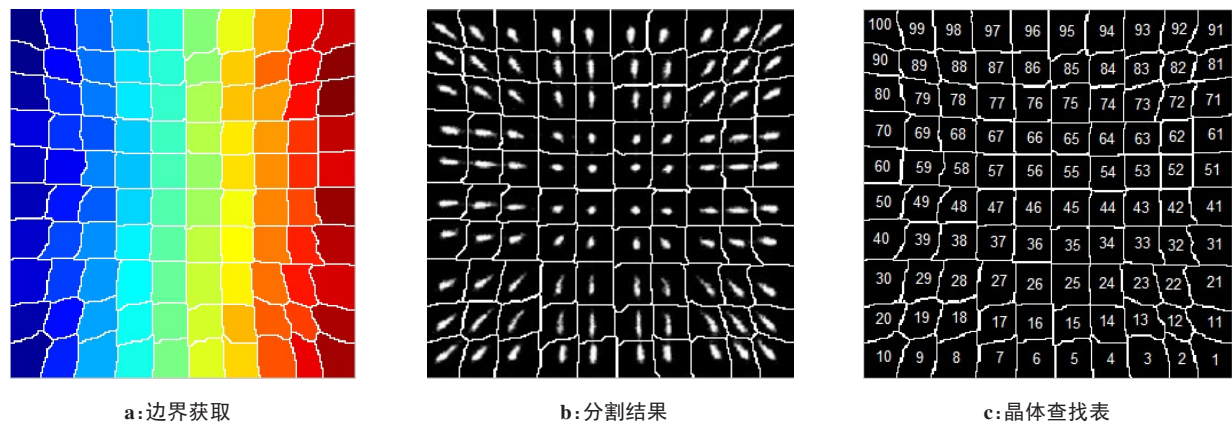


图4 2.0 mm 像素晶体识别结果
Fig.4 2.0 mm pixel crystal identification results

此外,还将实验中分水岭晶体识别程序应用在华盛顿大学1.6 mm像素20×20闪烁体探测阵列的

PET探头系统晶体位置识别上,实现400个晶体的识别,如图6所示。

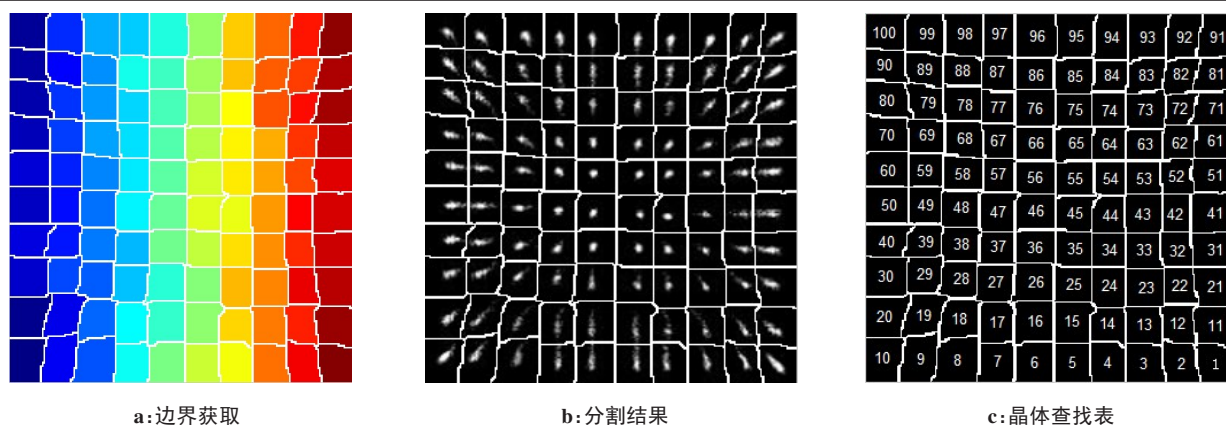


图5 1.6 mm像素晶体识别结果

Fig.5 1.6 mm pixel crystal identification results

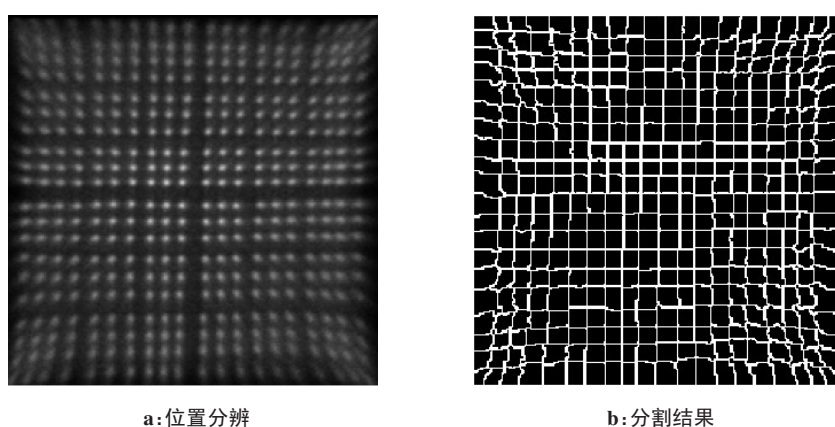


图6 华盛顿大学2.0 mm像素20×20晶体阵列分割结果

Fig.6 Segmentation results of 2.0 mm pixel 20×20 crystal array from University of Washington

3 讨论与分析

从位置分辨灰度图像来看,晶体响应的边缘畸变比较大,在边缘位置尤为严重,甚至灰度出现连续,不能给出良好的晶体阵列位置分辨,给后期的探头晶体识别带来困难,晶体识别方面应该予以着重考虑;从分割结果看,分水岭方法实现了晶体的辨识目的,粘连情况比较弱,分割方法效果良好;分割识别结果表明分水岭算法在小像素、高分辨率PET系统中具有应用价值。本实验中,一方面受制于电子学硬件设施;另一方面,在图像分割算法的选择上有一定的局限性,基于现阶段获得的pitch_2.0 mm_和pitch_1.6 mm_这两种10×10晶体阵列识别结果,可进行PET断层数据获取,进行图像重建,初步获得PET三维图像,评价搭建的小像素PET系统成像质量。对于现阶段工作的不足:如对比华盛顿大学PET系统位置分辨图像出现较大畸变,后期将在电子学上加以设计改进,减少其对光子位置计算畸变的影响;积极探索新的分割方法,改善识别结果。

未来工作将利用获得的晶体查找表信息进行断

层成像和三维重建,全面评估系统的相关指标,如分辨率、信噪比等。

【参考文献】

- [1] WADAS T J, WONG E H, WEISMAN G R, et al. Coordinating radiometals of copper, gallium, indium, yttrium, and zirconium for PET and SPECT imaging of disease[J]. Chem Rev, 2010, 110(5): 2858-2902.
- [2] LEE H Y, CHUNG J K, JEONG J M, et al. Comparison of FDG-PET findings of brain metastasis from non-small-cell lung cancer and small-cell lung cancer[J]. Ann Nucl Med, 2007, 22: 281-286.
- [3] WEBER W A. Assessing tumor response to therapy[J]. J Nucl Med, 2009, 50: 1-10.
- [4] TOWNSEND D W, CARNEY J P, YAP J T, et al. PET/CT today and tomorrow[J]. J Nucl Med, 2004, 45: 4-14.
- [5] WEBER W A, FIGLIN R. Monitoring cancer treatment with PET/CT: does it make a difference?[J]. J Nucl Med, 2007, 48: 36-44.
- [6] 柴培, 单保慈. 正电子发射断层扫描仪Block探测器晶体位置表的建立[J]. 中国科学E辑: 技术科学, 2009, 39(1): 103-108.
CHAI P, SHAN B C. The establishment of crystal position look-up table for positron emission tomography with Block detectors[J]. Science China E: Technological Sciences, 2009, 39(1): 103-108.
- [7] BIENIEK A, MOGA A. An efficient watershed algorithm based on connected components[J]. Pattern Recogn, 2000, 33(6): 907-916.

- [8] SU B, NOGUCHI N. Discrimination of land use pattern sin remote sensing image data using minimum distance algorithm and watershed algorithm[J]. Eng Agric Environ Food, 2013, 6(13): 80022-80026.
- [9] DEREN L, ZHANG G F, ZHAOCONG W U, et al. An edge embedded marker-based watershed algorithm for high spatial resolution remote sensing image segmentation[J]. IEEE Trans Image Process, 2010, 19(10): 2781-2787.
- [10] 胡均松, 邓明亮, 王新增, 等. 基于LYSO正电子发射乳腺断层成像系统探测器的设计与评估[J]. 核技术, 2013, 36(10): 46-53.
HU J S, DENG M L, WANG X Z, et al. Design and evaluation of positron emission mammography based on LYSO [J]. Nuclear Techniques, 2013, 36(10): 46-53.
- [11] STONGER K A, JOHNSON M T. Optical calibration of PET crystal position maps using Gaussian mixture models[J]. IEEE Trans Nucl Sci, 2004, 51(1): 85-89.
- [12] WEI Q Y, LI X D, MA T Y, et al. A neighborhood standard deviation based algorithm for generating PET crystal position maps[C]. Seoul: 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 2013: 1-4. DOI:10.1109/NSSMIC.2013.6829273.
- [13] 杨洪薇, 肖志涛, 翁秀梅. 基于分水岭和模糊C均值聚类的图像分割方法[J]. 天津工业大学学报, 2008, 27(1): 53-55.
YANG H W, XIAO Z T, WENG X M. Image segmentation method based on watershed and fuzzy C-means clustering[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2008, 27(1): 53-55.
- [14] 李丽平, 周鑫, 李强. 基于多种探测算法结果分级融合的PET探测器晶体查找表建立算法[J]. 核技术, 2016, 39(3): 24-30.
LI L P, ZHOU X, LI Q. Algorithm for finding the crystal lookup table of PET detector based on the results of multiple detection algorithms [J]. Nuclear Techniques, 2016, 39(3): 24-30.
- [15] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.
- [16] SALMAN N, LIU C Q. Image segmentation and edge detection based on watershed techniques[J]. Int J Comput Appl, 2003, 25(4): 258-263.
- [17] VINCENT L, SOILLE P. Watershed in digital space: an efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell, 1991, 13(6): 583-593.
- [18] JUNG C R, SCHARCANSKI J. Robust watershed segmentation using wavelets[J]. Image Vision Comput, 2005, 23: 661-669.
- [19] HAMARNEH G, LI X. Watershed segmentation using prior shape and appearance knowledge[J]. Image Vision Comput, 2009, 27(1-2): 59-68.
- [20] MATHIVANAN P, GANESAMOORTHY B, MARAN P. Watershed algorithm based segmentation for handwritten text identification[J]. ICTACT J Image Video Process, 2014, 4(3): 767-772.

(编辑:谭斯允)