

# 多通道能谱分析系统的通道复用技术\*

石亚星 张流强 何艳 张建 罗小丽

(重庆大学光电技术与系统教育部重点实验室 重庆 400044)

**摘要:** 能谱分析是一种重要的核辐射分析方法,探测器将接收到的核辐射脉冲转化为电信号,经电路整形后送入ADC进行数模转换,然后再经处理器处理得到能谱数据。ADC采样率和采样位数越大,测得的核脉冲信号就越准确,系统的能量分辨率就越高。而高采样率与采样位数往往不可兼得,为了提高能谱分析系统采样率,提出采用通道复用技术让多个16位ADC并行采样以提高采样率。使用NI公司的8通道USB-7845R数据采集卡,将两个采样率为500 k/s的ADC复用得到1 M/s的采样率,构建了4通道的能谱分析系统,验证了通道复用技术的可行性和稳定性。实验结果表明,多通道复用技术可以在不改变硬件电路的情况下提高能谱分析系统的采样率,从而提高能量分辨率。

**关键词:** 能谱分析系统; 通道复用; 采样率; 能量分辨率

**中图分类号:** TL822 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

## Multiplexing technology for multi-channel energy spectrum systems

Shi Yaxing Zhang Liuqiang He Yan Zhang Jian Luo Xiaoli

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems attached to Ministry of Education,  
Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Energy spectrum is one of the best important methods for the nuclear radiation analysis. The nuclear pulse received by the detector is translated into electrical signal and sent into ADC after shaping, followed by processing of the MCU and output of the spectral data. The higher sampling rate can detect the more accurate nuclear signal and achieve higher energy resolution. But high sampling rate and sample bits cannot have both. Multiplexing technique is proposed to control multiple 16 bits ADCs sampling parallel to realize a higher sampling rate. Based on the NI USB-7845R Multifunction RIO Card, the multi-channel spectrum analysis system with 1 M/s sampling rate is realized by combination of two 500 k/s ADC, the system performance and the stability all are verified in this paper. The experimental results show that the multiplexing technology can be used to improve both the sampling rate and the energy resolution of the energy spectrum analysis system under the condition of without changing the hardware circuit.

**Keywords:** energy spectrum system; multiplexing; sampling rate; energy resolution

## 1 引言

能谱分析是一种重要的核辐射分析方法,是原子核科学、环境科学、地质科学和空间科学等相关分析的一项关键技术。根据放射性核素发射的射线能谱可以区分不同的放射性核素,通过测量现场环境中的 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 射线谱,获得辐射总量和放射性同位素浓度等信息,已应用于建筑材料辐射监测、矿产资源勘查、地质构造、水文评价等工作<sup>[1]</sup>。

现有的能谱数据采集与分析系统,首先利用ADC将探测器测得的核信号经整形后转换为数字信号,然后通过FPGA、ARM或者DSP等处理器完成数据的高速实时处

理<sup>[2]</sup>,最终得到能谱数据<sup>[3]</sup>。能量分辨率是衡量能谱分析系统的重要指标,它是衡量能否将两个能量相近的射线分开的主要因素<sup>[4]</sup>,采样率和采样位数又是限制能量分辨率的主要因素之一。目前,能谱分析系统正在朝着高采样率、实时处理、多通道的方向发展,然而由于成本和工艺的制约,高采样率和高采样位数往往不能同时实现,这在很多时候限制了能谱分析系统的性能。多通道复用技术可以有效解决这一难题<sup>[5]</sup>。

NI USB-7845R是NI公司提供的多功能可重配置I/O产品,它使用FPGA控制数据采集和I/O配置,共有8个最高采样率为500 k/s的模拟输入通道,AD转换精度为16

收稿日期:2016-03

\* 基金项目:国家自然科学基金(61274048)资助项目

位。该数据采集卡的数据转换精度高,通道数也较多,但单通道采样率只有 500 k/s,不能满足多通道能谱分析系统的高精度峰值检测的要求。为此,本文采用并行多通道复用技术,通过 FPGA 控制两通道 ADC 交替进行数据采集,然后将两通道数据合并处理,实现了最高 1 M/s 采样率的四通道能谱分析系统,显著提高了多通道能谱分析系统的采样率和能量分辨率。

## 2 通道复用原理

多通道复用技术是通过几个 ADC 在不同时刻对模拟信号进行采样,最后把多个 ADC 的数据依次组合起来,从而将多路复用为一路,进而实现采样率的叠加<sup>[6]</sup>。

多通道复用技术需要让多个 ADC 在不同时刻并行采样,其关键是控制采样时钟。有两种方法可以控制 ADC 工作时序,实现 ADC 的顺序采样,如图 1 和 2 所示。图 1 是通道复用的常用方法,两个 ADC 使用频率相同但相位不同的时钟,一个在上升沿触发,一个在下降沿触发,从而控制 ADC 工作,实现采样率的叠加<sup>[7]</sup>。这种方法的缺点是需要创建两个不同的时钟,时钟之间的相位间隔会引入时间相位误差,导致采样的不均匀性<sup>[8]</sup>。本文提出使用同一时钟作为 ADC 工作时钟,在一个 ADC 开始工作后,只需要将两个 ADC 的开始采样时刻进行一定的相位延迟即可,使两个 ADC 都在上升沿触发。这样可以避免时钟之间相位差异产生的影响,同时简化了电路和程序设计。如图 2 所示,两个 ADC 采样率相同,每四个时钟周期完成一次采样,正常并行工作时,都有 1、3、5、7、9 五个采样点。采用多通道复用技术后,每个 ADC 采样率不变,只是将其中一个 ADC 的开始采样的时刻向后推迟两个时钟周期,即将两路复用为一路,共同采集同一个信号,这样就实现了采样率的叠加。

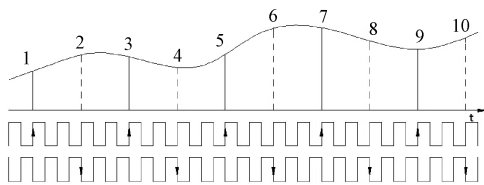


图 1 ADC 使用不同时钟

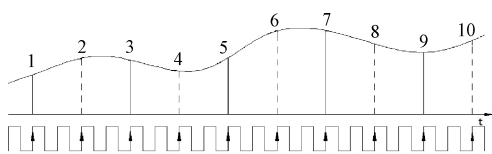


图 2 ADC 使用同一时钟

相应的,如果将 3 个或者更多的 ADC 复用起来,采样率就可以得到 3 倍或者更多倍的提升,只需要将其他 ADC 的开始采样时刻顺序延迟相应的时钟周期即可,但这是以牺牲通道数为代价的,而且各个 ADC 之间的偏置和增益的

差异也会加大采样误差,因此更多通道的复用技术需考虑通道一致性的补偿,避免误差的累积。

## 3 设计与验证

基于 NI USB-7845R 型多功能板卡的能谱分析系统设计,可以通过 FPGA 控制 ADC 进行数据采集并处理数据。利用该采集卡设计的多通道能谱分析系统结构如图 3 所示。8 个 ADC 独立并行工作,将采集到的数据在 FPGA 内进行数字寻峰和扣除基线处理<sup>[9]</sup>,将处理后得到的峰值数据通过 USB 送到 PC,再使用 LabVIEW 编写的上位机软件对峰值数据进行处理和存储,最后得到能谱数据<sup>[10]</sup>。但是采集卡 500 k/s 的采样率极大的限制了该系统的使用范围和性能,对于脉冲宽度较窄的核信号,如果采集点数过少,无法得到准确的峰值,将导致较低的能量分辨率。

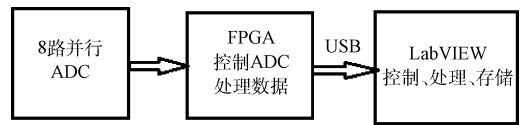


图 3 能谱分析系统

为了提高采样率,提出采用并行多通道复用技术将通道两两合并,这样就可实现准换精度为 16 位,最高 1 M/s 采样率的四通道能谱分析系统,虽然通道数减少了,但是采样率得到了成倍的提升,提高了峰值检测精度,同时扩展了系统的应用范围。由于 LabVIEW 优秀的人机交互功能和强大的硬件控制能力<sup>[11]</sup>,系统的通道数和采样率可以直接通过 LabVIEW 编写的上位机软件进行选择 and 设置。

为了验证通道复用前后系统采样率是否得到了有效提升,使用信号发生器生成频率为 40 kHz,幅值为  $\pm 0.9$  V,占空比 50% 的正弦波作为输入信号进行测试。复用前后的测试信号具有一定相位差,复用前系统采样率为 500 k/s,复用后为 1 M/s,转换精度不变,测试结果如图 4 所示。在相同时间内,复用后的采样点数是复用前采样点数的 2 倍,而信号大小差异并没有变化,由此可知使用多通道复用技术可以在保证较高转换精度的情况下有效提高采用率。采样率和采样位数越高,越能反映被测信号的完整

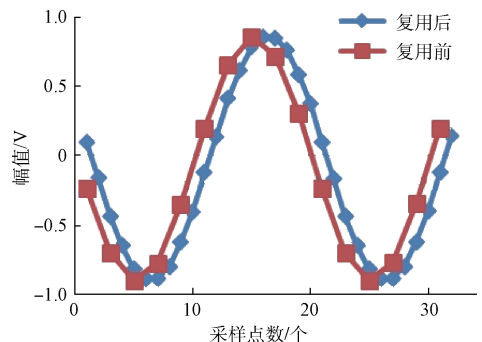


图 4 复用前后采样率变化

性<sup>[12]</sup>,后续对信号进行寻峰和扣除基线等数据处理时就会越精确,能谱分辨率就越高。

使用多通道复用技术将 NI USB-7845R 型多功能板卡 8 个通道进行复用构建四通道能谱分析系统,并进行测试。以脉宽为 1.5 μs,幅值为 0~1.878 V,频率为 50 kHz 的方波为信号源,实际测试脉冲信号的能谱,验证复用前后系统能量分辨率是否得到提高。测试时间为 2 min,ADC 量程选为 -2~2 V,通道数设为最大值 32767,其中最大道数由 ADC 位数决定,道数越高,反映出的能谱数据就越精细,越能反映信号成分的细节<sup>[13]</sup>。能量分辨率是能谱分析系统的主要指标,即半高宽与峰值最大处道址的比值,比值越小能量分辨率越高<sup>[14]</sup>。通道复用前后测得能谱如图 5 所示,由于采用信号发生器产生的方波信号进行测试,信号噪声小,实验结果较为理想,信号幅值非常集中,复用前后能量分辨率都很高,但由图 5 还是可以看出复用后的能谱分辨率较复用前得到了大幅提升。

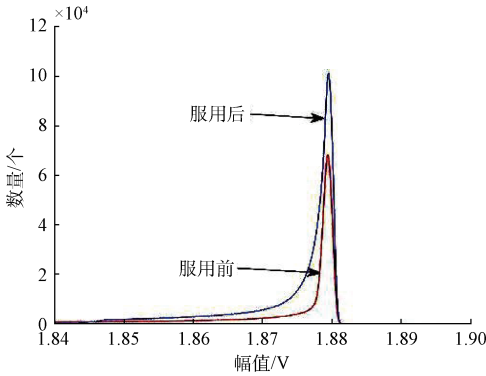


图 5 通道复用前后能谱图

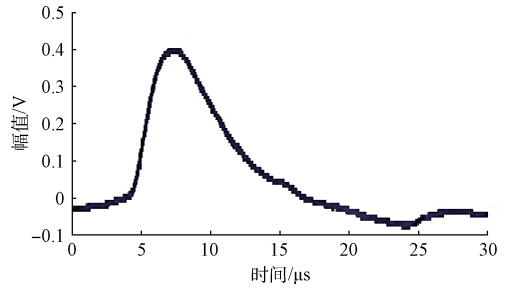


图 6 Am241 的 γ 信号

为了验证通道复用后,四通道能谱分析系统是否能稳定工作,以及通道间的一致性,我们以实际放射源 Am-241 为信号源,使用 CZT 平板探测器探测和信号转换为电信号<sup>[15]</sup>,经过过前端整形放大电路后得到的高斯核脉冲信号如图 6 所示。由图 6 可知,核信号稳定的峰值宽度有 1.2 μs 左右,1 M/s 的采样率每隔 1 μs 采集一个数据点,可以准确的测到峰值数据。因此使用通道复用技术构建的四通道能谱分析系统可以满足测试要求,系统将采集到的数据进行数字寻峰,扣除基线值后传到计算机,再使用 LabVIEW 编写的上位机进行后续处理,最后可以得到 Am241 的 γ 能谱。

对图 6 中 γ 信号进行测试,采样率设为最大值 1 M/s,ADC 量程选为 ±1 V,在同等准换精度下,降低量程可以显著提高采样精度,道址共 1024 道,测试时间 5 min。为了验证系统稳定性,4 个通道同时测量同一脉冲信号。测得能谱如图 7 所示,由图可知 4 个通道具有较好的一致性,系统可以稳定工作,测得的能谱分辨率约为 25%,与商业化单通道能谱系统的测试结果相当。

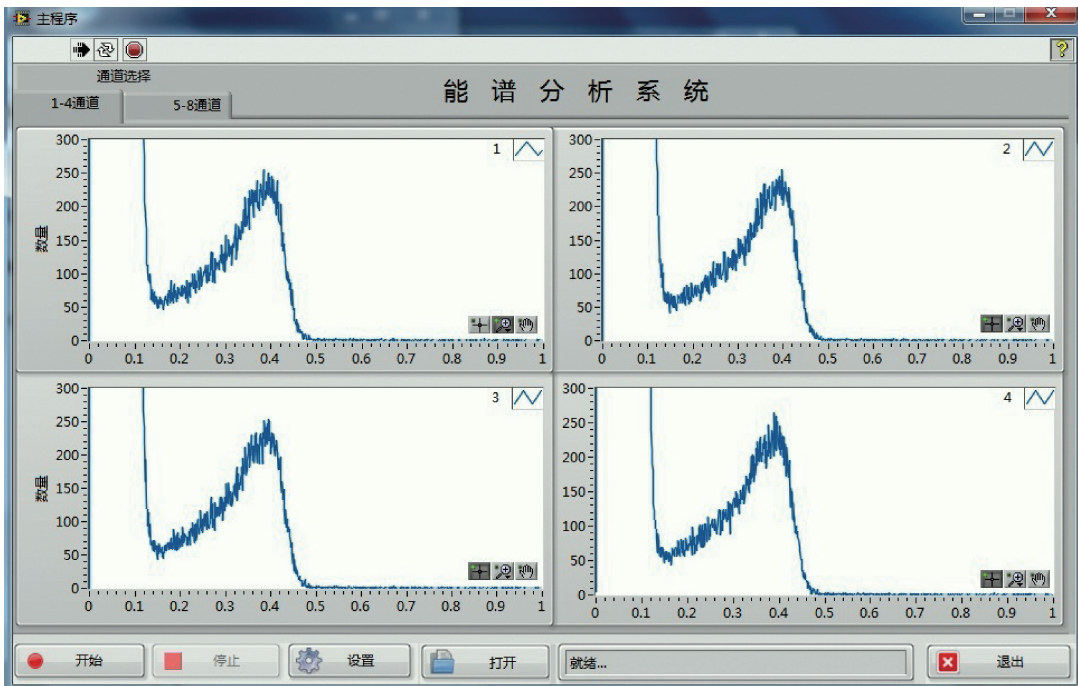


图 7 四通道能谱图

## 4 结 论

本文使用并行多通道复用技术,利用 NI USB-7845R 多功能板卡成功实现了转换精度为 16 位,采样率 1 M/s 的四通道能谱分析系统,克服了采集卡硬件系统最高采样率为 500 k/s 的限制,成功提高了采样率和能谱分析系统的能量分辨率,拓展了系统的应用范围。

## 参 考 文 献

- [1] 刘世豪. 数字化便携式  $\gamma$  能谱仪的设计与实现[D]. 武汉:华中科技大学,2012: 1-3.
- [2] 李易难,牛燕雄,杨露. 基于 DSP+FPGA 视频图像采集处理系统的设计[J]. 电子测量技术,2014, 37(1): 58-61.
- [3] FERNANDES A M, PEREIRA R C. Parallel processing method for high-speed real time digital pulse processing for gamma-ray spectroscopy [J]. Fusion Engineering and Design, 2010, 85 (3-4): 308-312.
- [4] 肖海军. 基于 FPGA 的 CZT 核探测器的数据采集系统[D]. 重庆:重庆大学,2013: 1-5.
- [5] 邱渡裕,田书林,叶芑,等. 基于并行结构的随机等效时间采样技术研究 with 实现[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(7): 1669-1675.
- [6] 康邵春. 基于时间并行交替技术的超高速高精度波形数字化研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2012: 30-32.
- [7] LV J, MO Y Q. High-Speed Real-Time Data Acquisition System Realized by Interleaving/Multiplexing Technique [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2000, 9(2): 183-188.
- [8] 张昊,师奕兵. 时间交替 ADC 通道适配误差的 LS 法估计 [J]. 仪器仪表学报, 2010, 31 (5): 1161-1166.
- [9] XIAO W Y, WEI Y X, AI X, et al. System simulation of digital pulse spectrometer[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2005, 555(1-2): 231-235.
- [10] 黄幸,孟进,唐健,等. 基于 LabVIEW 的干扰消除装置测试系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(12): 57-62.
- [11] 刘正琼,胡丽莉,唐璇,等. 基于虚拟仪器的肢体姿态检测系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(6): 907-913.
- [12] 朱耀辉,周锡华. 基于交叉采样技术的多道脉冲幅度分析仪设计[J]. 核电子学与探测技术, 2014, 34(12): 1469-1481.
- [13] 王辉,李世平. 基于通用数据采集卡实现的实时多通道多道能谱分析仪[J]. 核电子学与探测技术, 2013, 33(7): 795-809.
- [14] 张怀强. 数字核谱仪系统中关键技术研究的[D]. 成都:成都理工大学,2011: 5-20.
- [15] 黄振华. 数字化能谱检测系统研究[D]. 重庆:重庆大学,2014: 8-15.

## 作者简介

石亚星,2014年毕业于河南科技大学,现为重庆大学仪器仪表专业研究生,主要研究方向为虚拟仪器、数据采集与处理。

E-mail: 20140813075@cqu.edu.cn