

# 基于时间交替采样技术的 1 GS/s、16 bit 数据采集系统研究

李海涛<sup>1</sup>, 李斌康<sup>1,2</sup>, 孙彬<sup>1</sup>, 张美<sup>1,2</sup>, 田耕<sup>1,2</sup>

(1.西北核技术研究所, 陕西 西安 710024; 2.强脉冲辐射环境模拟与效应国家重点实验室, 陕西 西安 710024)

**摘要:**为了实现对大动态范围信号的高精度幅度信息获取, 基于时间交替采样技术, 研制 1 GS/s、16 bit 高速高分辨率数据采集系统, 功能测试发现: 当输入模拟信号中含有较大直流分量时, 输出采样数据波形会发生振荡问题。研究时间交替采样技术, 确认偏置误差是导致振荡问题发生的原因。设置 ADC 工作在实时校正误差模式, 结合离线校正算法, 解决采样数据的振荡问题, 对比偏置误差校正前后的时域波形和频谱, 验证校正算法的有效性。测试结果表明, 研制的数据采集系统实现了对大动态范围信号的单信道高精度测量功能。

**关键词:**数据采集系统; 时间交替采样; 通道失配误差; 偏置误差; 校正算法

中图分类号: TN935.4

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.212177

中文引用格式: 李海涛, 李斌康, 孙彬, 等. 基于时间交替采样技术的 1 GS/s、16 bit 数据采集系统研究[J]. 电子技术应用, 2022, 48(7): 118–123, 139.

英文引用格式: Li Haitao, Li Binkang, Sun Bin, et al. Research on 1 GS/s, 16 bit data acquisition system based on time-interleaved sampling technology[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(7): 118–123, 139.

## Research on 1 GS/s, 16 bit data acquisition system based on time-interleaved sampling technology

Li Haitao<sup>1</sup>, Li Binkang<sup>1,2</sup>, Sun Bin<sup>1</sup>, Zhang Mei<sup>1,2</sup>, Tian Geng<sup>1,2</sup>

(1. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China;

2. State Key Laboratory of Intense Pulsed Radiation Simulation and Effect, Xi'an 710024, China)

**Abstract:** In order to obtain high precision amplitude information of large dynamic range signals to be sampled, a 1 GS/s, 16 bit high-speed and high-precision data acquisition system is designed based on the time-interleaved sampling technology. Through tests, it is found that if the input analog signal contains a large DC component, the output sampled data waveform will oscillate. It is confirmed that the bias error is the cause of oscillation. By setting the ADC to work in the real-time error correction mode, combined with the off-line correction algorithm, the oscillation problem of sampled data is solved, and the time-domain waveform and spectrum before and after correction are compared to verify the effectiveness of the correction algorithms. The test results show that the designed data acquisition system realizes the function of single channel high-precision measurement of large dynamic range signals.

**Key words:** data acquisition system; time-interleaved sampling; mismatch error; offset error; correction algorithm

## 0 引言

随着半导体技术的快速进步, 基于模数转换器(Analog to Digital Converter, ADC)的实时数据采样技术发展迅速。为了高精度地获取待采样信号波形, 需要选择合适参数的数据采集系统。待采样信号带宽越高, 需要的数据采集系统实时采样率就越高; 待采样信号的幅值动态范围越大, 需要的数据采集系统分辨率越高。

对数据采集系统的研究正在持续地蓬勃开展, 2012 年, 中国科学技术大学的唐绍春, 基于时间交替采样技术, 研制 10 GS/s、8 bit 数据采集系统<sup>[1]</sup>; 2013 年, 中国科学院高能物理研究所的邹剑雄, 研制 4 GS/s、12 bit 数据

采集系统<sup>[2]</sup>; 2019 年, 中国科学技术大学的梁昊, 研制双通道 5 GS/s、10 bit 数据采集系统<sup>[3]</sup>; 2019 年, 电子科技大学的周楠, 研制 5 GS/s、12 bit 数据采集系统<sup>[4]</sup>; 2019 年, 电子科技大学蒋俊、杨扩军等人, 基于时间交替采样技术, 研制 20 GS/s、8 bit 数据采集系统<sup>[5-6]</sup>; 2019 年, 中国工程物理研究院的吴军, 研制 6.4 GS/s、12 bit 数据采集系统, 应用于脉冲辐射场诊断。

国内外也有很多数据采集产品, 如普源精电科技公司(RIGOL)基于自研的凤凰座(Phoenix)示波器 ASIC 芯片组研制的 DS8000 示波器, 性能达到 10 GS/s、8 bit。美国 Tektronix 公司研制的高分辨率示波器如 MSO58LP, 性能

结合使用 ADC 芯片实时在线校正加离线校正的方法,有效解决了偏置误差导致的采样数据振荡问题。图 10(a)给出了研制的1 GS/s、16 bit 数据采集系统单信道多次测量采集到的脉冲信号时域波形,上升时间约为3 ns,脉宽为20 ns,16 bit 原型系统的测量结果离散较小,基线噪声峰峰值约为2.3 mV。图 10(b)给出1 GS/s、8 bit 示波器信道多次测量采集到的脉冲信号时域波形,基线噪声峰峰值约为55 mV。在相同输入电压幅值情况下,1 GS/s 16 bit 原型系统的动态范围约是8 bit 示波器的24倍。如前述,一般8 bit 示波器的动态范围约100倍,因此16 bit 系统的动态范围超过2 000倍,可以实现对大动态范围脉冲信号的实时采集功能。在采样数据波形的离散型方面,不论在基线处,还是波形幅值快速跳变处,16 bit 测量的采样数据波形的离散较小。

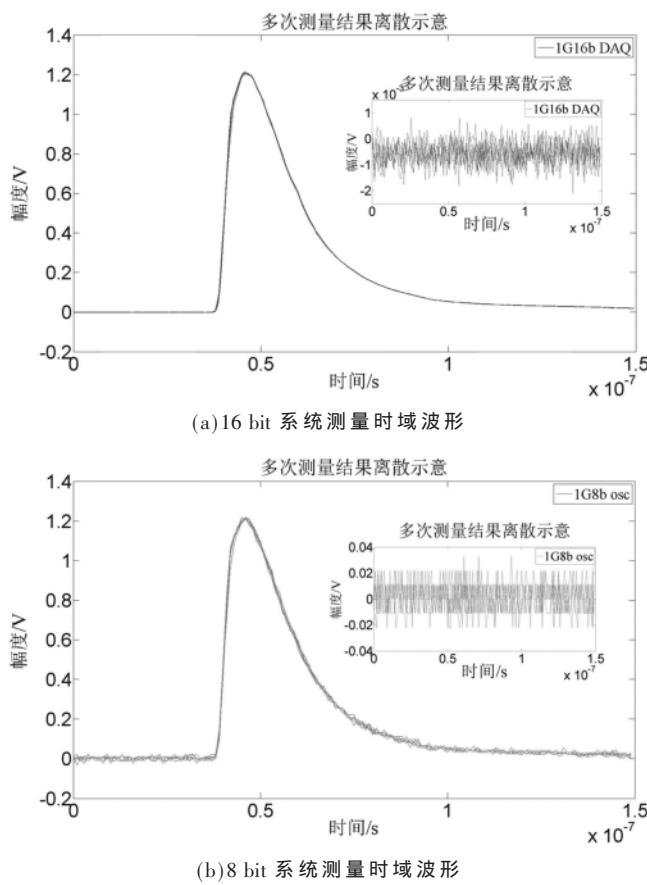


图 10 16 bit 系统和 8 bit 示波器多次测量脉冲信号典型结果

## 5 结论

基于时间交替采样技术,研制1 GS/s、16 bit 高速高分辨率数据采集系统。测试中发现ADC输出采样数据的振荡问题,采用推荐的 frozen 校正方法解决振荡问题,效果不理想。通过对采样数据的频谱分析,确认偏置误差无法实时校正是采样数据振荡问题产生的原因。研究时间交替采样技术,确定ADC输出采样数据振荡和输入待采样信号电压幅值的关系,认为振荡过程是一个

能量积累过程,稳定振荡波形幅值和输入信号幅值无关。设置ADC工作在实时校正误差模式,使其工作在稳定振荡过程,结合采用离线算法校正偏置误差。对比误差校正前后采样数据的典型时域波形及其对应的频谱分布,可以发现经过误差校正消除了偏置误差,有效解决了采样数据的振荡问题。使用研制的大动态范围数据采集系统采集单信道采集脉冲信号波形,并与8 bit 示波器信道量程搭接采集到的待采样信号波形进行对比,研制的系统可以实现对大动态范围脉冲信号的高精度实时采集功能。

## 参考文献

- [1] 唐绍春.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.
- [2] 邹剑雄.地下暗物质实验中的高速采样 ADC 模块的研究与设计[D].北京:中国科学院高能物理研究所,2013.
- [3] 刘鸣,孙秀男,梁昊.双通道 5 GS/s 高速数据采集卡设计[J].计算机硬件,2019,38(6):76-82.
- [4] 周楠.5GSPS 高分辨率数据采集与处理关键技术研究[D].成都:电子技术大学,2019.
- [5] 杨扩军,田书林,蒋俊,等.基于 TIADC 的 20 GS/s 高速数据采集系统[J].仪器仪表学报,2014,35(4):841-849.
- [6] 孙倩.40GSPS 示波器的高性能触发模块设计[D].成都:电子科技大学,2020.
- [7] 李海涛.快脉冲信号高精度量化及采集技术研究[D].西安:西北核技术研究所,2021.
- [8] Ti.ADS54J60 Dual-Channel, 16-Bit, 1.0-GSPS Analog-to-Digital Converter[Z].2017.
- [9] 潘廷哲,张国钢,徐由档,等.多路高速同步数据采集系统的信号完整性仿真与优化设计[J].电测与仪表,2020,57(1):136-140.
- [10] 李海涛,李斌康,阮林波.高速高分辨率 ADC 有效位测试方法研究[J].电子技术应用,2013,39(5):41-43.
- [11] Xilinx.7 Series FPGAs GTX/GTH Transceivers user guide[Z].2016.
- [12] Xilinx.JESD204 v6.1 LogiCORE IP product guide[Z].2015.
- [13] 李海涛,阮林波,田耕.高速 ADC 采样数据接收缓存系统研究[J].自动化仪表,2020,41(8):42-45.
- [14] 王红亮,曹京胜.基于 JESD204B 协议的数据采集接口设计与实现[J].电测与仪表,2018,55(7):87-91.
- [15] 李海涛,李斌康,田耕,等.基于 JESD204B 的 1 GS/s、16 bit 数据采集系统研究[J].电子技术应用,2021,47(4):126-131.
- [16] Ti.LMK0482x ultra low-noise JESD204B compliant clock jitter cleaner with dual loop PLLs[Z].2015.
- [17] GUIBORD M.JESD204B 多器件同步:分解要求[EB/OL].(2015-xx-xx)[2021-09-22].<http://www.ti.com>.
- [18] JONES D.JESD204B 子类(第二部分):子类 1 与子类 2 系统考虑因素[EB/OL].(2014-xx-xx)[2021-09-22].

(下转第 139 页)

- look once : unified, real-time object detection[C]//Proceedings of CVPR, 2015: 779–788.
- [14] 张炳力, 秦浩然, 江尚, 等. 基于 RetinaNet 及优化损失函数的夜间车辆检测方法[J]. 汽车工程, 2021, 43(8): 1195–1202.
- [15] KRASIN, T, DUERIG N, ALLDRIN V, et al. Open-images: a public dataset for large-scale multi-label and multi-class image classification[Z]. 2016.
- [16] 何东, 陈金令, 王熙. 基于改进 YOLOv3 的红外行人目标检测[J]. 中国科技论文, 2021, 16(7): 8.

(收稿日期: 2021-12-09)

**作者简介:**

刘彤(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 深度学习、分布式信息处理。

杨德振(1988-), 通信作者, 男, 博士研究生, 主要研究方向: 光电系统设计、弱信号提取及图像处理。

宋嘉乐(1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 迁移学习。



扫码下载电子文档

(上接第 117 页)

- 与技术, 2021, 43(1): 76–80.
- [2] 江润东, 姚金杰, 姬娜娜, 等. Ka 波段频率源建模分析与设计[J]. 电子技术应用, 2021, 47(7): 12–16.
- [3] 谢走甜, 王志伟, 李岸舟, 等. 一种新型低杂散低相噪直接合成频率源[J]. 雷达科学与技术, 2021, 19(3): 328–331.
- [4] 刘国超. 基于 PLL 低相噪快捷频率源的研究与设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2021.
- [5] 周叶华, 叶宝盛, 程明, 等. 一种高精度纯度的 C 频段宽带频率合成器设计[J]. 电讯技术, 2018, 58(2): 219–224.
- [6] CHENAKIN A. Frequency synthesizers: current solutions and new trend[J]. Microwave Journal, 2007, 50(5): 256–266.
- [7] 李智鹏, 刘永智, 徐铭海, 等. 基于级联式偏置锁相环的低相噪宽带频率合成器[J]. 微波学报, 2014, 30(6): 9–13.

- [8] 张大鹤, 李青平. 一种超低相位噪声宽带频率合成器的设计[J]. 无线电工程, 2016, 46(2): 58–60.

- [9] 成斌, 沈文渊, 穆晓华, 等. 一种超宽带超低相位噪声频率综合器[J]. 电波科学学报, 2021, 36(4): 532–538.

- [10] 张清. 微波全频段低功耗树状谱发生器研制[D]. 成都: 电子科技大学, 2009.

- [11] 郭鑫, 程建斌. 基于 MCM 技术的小型化频率综合器设计与实现[J]. 电子与封装, 2021, 21(12): 120303.

(收稿日期: 2021-11-14)

**作者简介:**

程建斌(1982-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 频率合成器、微波电路与系统。

钟耀霞(1982-), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 频率合成器、电路与系统。



扫码下载电子文档

(上接第 123 页)

- <http://www.analog.com>.
- [19] BEAVERS I. JESD204 转换器内确定性延迟解密[EB/OL]. (2014-xx-xx)[2021-09-xx].<http://www.analog.com>.
- [20] 李海涛, 阮林波, 田耕. FFT 方法在 ADC 有效位测试中的应用探讨[J]. 电测与仪表, 2013, 50(10): 14–17.
- [21] TI. ADS54J60 Dual-Channel, 16-Bit, 1.0-GSPS Analog-to-Digital Converter[Z]. 2019.

(收稿日期: 2021-09-22)

**作者简介:**

李海涛(1986-), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向: 快电子学。

李斌康(1965-), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向: 脉冲辐射探测、快脉冲电子学和系统研制。

孙彬(1979-), 男, 硕士, 副研究员, 主要研究方向: 加速器控制。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所