

数据采集片上系统动态性能测试的新方法

李倩¹, 马晓燕², 鲁华祥²

1. 中国电子信息产业发展研究院信息技术研究所, 北京100846; 2. 中国科学院半导体研究所 神经网络实验室, 北京100083

2008-07-25

摘要: 提出一种新的方法用于高精度数据采集片上系统的动态性能测试。该方法利用高维空间几何矢量投影的思想, 将正弦响应信号向由其各次谐波组成的正交基投影来拟合测试数据, 以残差的负熵作为拟合结束的判据, 使残差最大限度地接近白噪声, 避免了传统以残差最小为判据的过拟合问题。实验证明了该方法的有效性。

关键词: 高维空间投影 负熵 白噪声 动态性能

集成电路进入SoC时代, 整个电子整机的功能被集成在一块芯片上。TI公司推出的高精度数据采集片上系统MSC1200系列芯片就将数模转换器、可编程增益放大器、高精度片上电压参考或外部差分电压参考、片上温度传感器、片上校准、高精度多通道模拟开关等模拟电路和增强型8051处理器内核、闪存、SRAM、I/O端口、累加器、UART、计数器/定时器等数字电路集成在一个芯片上。在设计分析这种片上系统时, 需要测试芯片的模拟性能。此时要将数模转换器(ADC)、放大器(Amplifier)、电压参考源、模拟开关等的性能作为整体系统性能(包括静态性能和动态性能)进行测试。静态性能测试较为简单, 测试方法亦很成熟, 但动态性能受很多因素影响, 因此测试变得十分复杂。随着模拟电路性能、ADC、DAC精度的提高, 对测试的要求也越来越高, 全面表征这些数据采集片上系统的参数多达数十项。例如信噪比(SNR)、信噪谱比(SINAD)、有效位数(ENOB)、总谐波失真(THD)、无杂散动态范围(SFDR)、非线性等^[1]。

传统集成电路性能测试大多采用正弦激励法。快速傅立叶变换(FFT)法是模拟集成电路性能测试中最常用的方法, 其优点是直观、简便, 但测试精度低^[2]。正弦拟合法常用在对ADC谐波失真的分析测量中, 对高精度数据采集片上系统的性能测试不能试用, 并且可能产生过拟合问题。本文利用高维空间几何矢量投影方法研究测试数据的函数拟合问题, 为高精度数据采集片上系统的性能测试提供新的方法。

1 基本思想

高精度数据采集片上系统在正弦测试信号激励下, 经过片上放大器、模拟开关、电压参考源、模数转换器组成的系统后, 在输出端得到离散的数字信号序列 (y_1, y_2, \dots, y_N) 。本文研究的测试限定在: (1)测试激励信号为纯正的正弦信号; (2)正弦测试信号频率 f_0 和采样频率 f_s 满足 $f_0 = f_s \cdot M/N$, 其中N为序列采样点的数量, M为正整数。

设正弦测试信号的频率为 f_0 , 在输出端采用 f_s 的抽样频率进行采样, 得到采样序列 $Y = [y_1, y_2, \dots, y_N]^T$, 在实际系统中, Y不可能是理想的正弦信号, 而是包含了一定的谐波分量、零漂及温漂和白噪声。记为:

$$Y = A \sin(2\pi f_0 t) + \sum_{m=2}^H A_m \sin(2\pi m f_0 t + \theta_m) + \sum_{k=0}^1 B_k t^k + n(t) \quad (1)$$

式中, 第一项为理想的正弦响应的基频项; 第二项为谐波项。一般来说, N个采样点最多包含N/2次谐波项, 因为N个采样点组成一个N维空间矢量, 而各次谐波的正余弦分量可以看作是N维空间的正交基, 每次谐波包含两个正交基, 因此N个采样点最多包含N/2次谐波项; 第三项为非线性失真, 它主要是由零点漂移和温漂引起的, 可以用自变量为时间的一次多项式来拟合; 第四项 $n(t)$ 为加性高斯白噪声, 包括量化噪声、采样时钟抖动引入的噪声、系统的热噪声等, 它是独立于前几项随机产生的。

为了表征片上系统的性能, 本文采用高维空间几何矢量投影的方法拟合出采样序列的各个组成部分, 使拟合误差尽可能地接近白噪声。各组成部分的计算方法如下。

1.1 均值和时间的一次项

首先要去除观测信号中由零点漂移和温漂引起的均值和自变量为时间的一次项, 也就是式(1)中的第三项。因为采样点数为基频周期的整数倍, 所以可以通过计算均值得到 B_0 的初始值, 通过计算过零点的斜率计算出一次项系数的初始估计值 B_1 , 然后反复微调该值, 使残差中的均值和一次项系数均接近于零, 即可确定精确的均值和一次项系数。

1.2 基频和谐波分量

记 Y' 为Y中去除温漂和零点漂移后的部分, 它包含了基频 f_0 成分、谐波成分以及高斯白噪声。由经验可知, Y' 中包含的基频成分是最主要的成分, 并且谐波分量的幅度是递减的。频率 f_0 的前N/2次谐波的正余弦分量可以看作是N维空间的正交基。由高维空间理论可知, 任何N维的数据都可以由这N个正交基完全表示。在拟合过程中一般只取前m次谐波。关于确定m取值的方法, 传统方法是以残差最小作为目标函数, 但是这一方法忽略了残差为白噪声这一性质, 将会产生过拟合问题。因为白噪声也被表示成谐波分量, 同时也不符合实际物理意义。

为了避免这个问题, 本文采用残差为白噪声这一判据来确定谐波次数m的选取。首先将 Y' 在单位基向量 $\sin(2\pi f_0 t)$ 和 $\cos(2\pi f_0 t)$ 上投影, 求出基频的幅度和相位, 然后从 $m=2$ 逐次递加地向其第m次谐波分量上投影。每增加一次谐波分量, 计算 Y' 投影后的残差 r_1 的负熵, 直到 r_1 的负熵小于某个阈值时停止, 即拟合出式(1)中的前两项, 记为 Y_s 。投影后Y的残差记为 $Y - Y_s$, 即为白噪声项。

热点专题

- 2008嵌入式技术创新及应用高峰论坛
- 2008飞思卡尔技术论坛
- Altera公司SOPCWorld 2008专题报道
- 第十届高交会电子展
- 科技闪耀北京奥运
- ADLINK DAY—2008年量测与自动化技术国际高峰论坛
- 中国电子学会Xilinx杯开放源码硬件创新大赛
- 赛灵思公司Virtex-5系列FPGA
- 3G知识
- IPTV
- 触摸屏技术
- RoHS

杂志精华

- 基于CC2430的无线传感器...
- 无线传感器网络应用系统综述
- 无线传感器网络在野外测量中的...
- 基于竞争的无线传感器网络
- 用于矿井环境监测的无线传感器...
- 具有自适应通信能力的无线传感...
- 基于传感器网络技术的深孔测径...
- 基于无线传感器网络的家庭安防...
- 基于ATmega128L与C...
- 无线传感器网络中移动节点设备...

1.3 白噪声的衡量

本文提出的算法的目标是使拟合的残差最大限度地接近于高斯白噪声, 这样也更符合真实的高精度数据采集片上系统的噪声情况。前面提出判断残差Y为高斯白噪声, 可以采用负熵(negentropy)作为判断的指标^[3]。随机变量的负熵定义为:

$$J(y) = H(y_{\text{gauss}}) - H(y) \quad (2)$$

式中, y_{gauss} 是和y具有相同方差的高斯随机变量。最大化J(y)即是最大化非高斯性。因为y的概率密度分布函数未知, 严格计算它的熵比较困难。参考文献[4]中指出可以采用近似逼近的方法来计算:

$$J(y) \approx k_1(E\{G^1(y)\})^2 + k_2(E\{G^2(y)\} - E\{G^2(v)\})^2 \quad (3)$$

式中, G^1 、 G^2 为任意的非二次函数, G^1 为奇函数, G^2 为偶函数; k_1 、 k_2 为正常数; v 为零均值单位方差的高斯变量。

2 仿真及实验结果

为了验证该高维空间几何矢量投影方法的准确性, 对高精度数据采集片上系统的动态特性进行如下仿真。假定: 被测ADC的分辨率为14位, 采样频率 $f_s=1\text{MHz}$, 输入正弦信号频率为10kHz。测试正弦信号的输出Y包(含五次谐波, 其幅度分别为0dB、-70dB、-84dB、-90dB、-100dB), 其总谐波失真THD(Total Harmonic Distortion)为-69.7848dB, 并且用一次多项式来模拟正弦信号的零漂和温漂; 白噪声项采用高斯分布的白噪声, 该项的信噪比(SNR)为-50.9134dB; 输出Y总的信噪谐波比SINAD(信号与噪声+失真之比)为-34.6937dB。

采用本文提出的高维空间投影的方法拟合Y中的各项, 得到的结果如图1所示。从图1可以看出, 本方法能够有效地对ADC的动态特性进行模拟, 模拟结果中的噪声项最大限度地接近高斯白噪声。

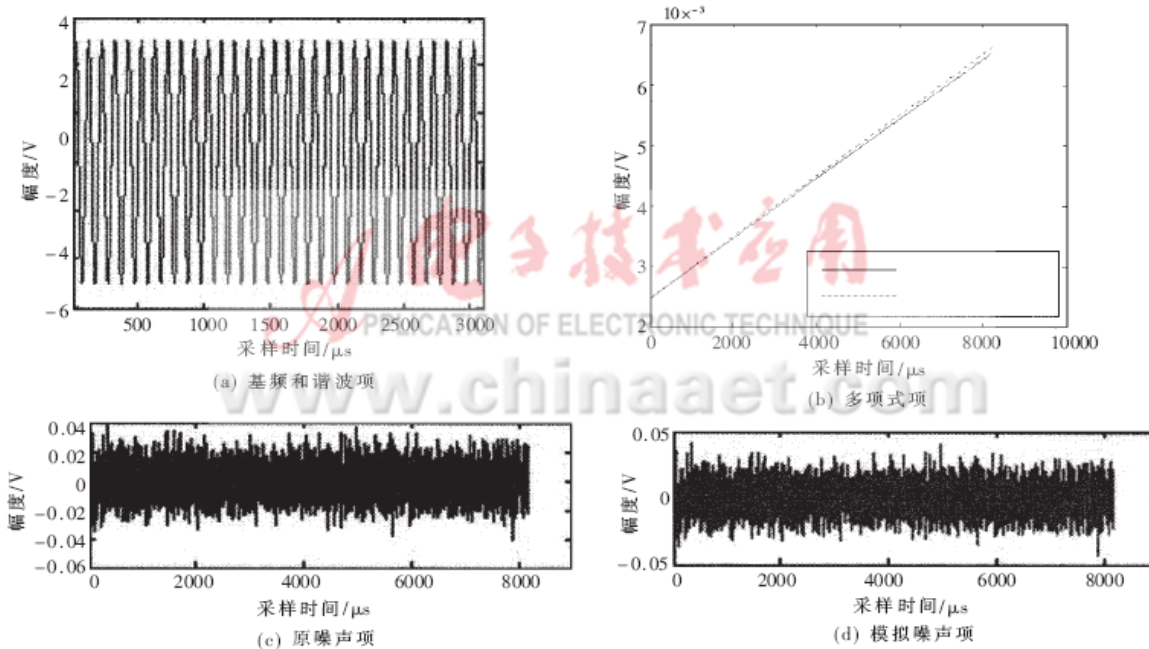


图1 各分量的拟合结果及多项式项、噪声项与真实值的比较(横坐标表示拟合信号各分量的采样时间;纵坐标表示拟合信号各分量的幅度)

本文还验证了对不同频率、不同谐波失真的测试信号的模拟结果, 计算并比较模拟前后谐波失真(THD), 白噪声的信噪比(SNR)以及Y的总的信噪谐波比(SINAD)的变化, 结果数据如表1所示。

表1 模拟的谐波失真(THD)、白噪声的信噪比(SNR)、总的信噪谐波比(SINAD)及负熵(Negentropy)与真实值的比较

测试频率(kHz)	5		10		20	
	真实值	模拟值	真实值	模拟值	真实值	模拟值
THD(dB)	-49.9525	-50.0664	-69.7848	-69.8495	-25.2288	-25.2317
SNR(dB)	50.9674	50.9675	50.9134	50.9115	50.9301	50.9356
SINAD(dB)	34.6148	34.6150	34.6937	34.6935	24.7684	24.7682
Negentropy(10^{-3})	0.9610	0.6001	0.1993	0.2371	0.1287	0.0949

从表中的数据可以看出, 该高维空间投影的方法能够以较小的误差模拟ADC动态特性的各个参数, 同时使余差的负熵接近于零(达到 10^{-4}), 最大限度地接近于高斯白噪声, 避免了过拟合。

本文采用高维空间几何矢量投影的方法, 研究了高精度数据采集片上系统在测试正弦信号激励下的动态性能, 将正弦响应信号向基频及谐波组成的正交基投影。为了避免传统以残差最小为指标的投影拟合方法会产生过拟合的缺点, 本文以残差的白噪声性(负熵)作为拟合的判据, 使最终拟合结果的残差最大限度地接近于白噪声。经实验证明, 该方法能够有效地对数据采集系统的失真的各参数进行评估, 并且具有计算简便的优点, 具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 邱兆坤, 王伟, 马云, 等. 一种新的高分辨率ADC有效位数测试方法[J]. 国防科技大学学报, 2004, 26(4): 1-5.
- [2] 高晓明, 李春明, 孙圣和. 动态非线性失真测量的谱平均方法[J]. 计算机自动测量与控制, 1993, (2): 11-14.
- [3] HYV?觥RINEN A. Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis[J]. IEEE Trans on Neural Network, 1999, 10(3): 626-634.

在线联系

添加到收藏夹

关于“数据采集片上系统动态性能测试的新方法”，我有如下需求或意向：

用户名：

密码：

验证码：

5829

[欢迎注册](#)

相关应用

- 汽车嵌入式SoC系统的应用与发展
- 基于片内WISHBONE总线的高速缓存一致性实现
- 在嵌入式多核集群中利用OCP处理高速缓冲器一致流量
- 32位ARM核微处理器芯片PUC3030A及其应用
- Power Architecture许可开放
- 采用MIPS内核的SoC门级时序仿真及功耗估计方法

[版权声明](#) | [投稿须知](#) | [《电子技术应用》投稿](#) | [网站地图](#) | [帮助中心](#) | [广告中心](#) | [关于我们](#) | [管理员信箱](#)

[回到顶端](#)

《电子技术应用》编辑部版权所有

地址：北京海淀区清华东路25号电子六所大厦

联系电话：82306084 / 82306085 传真：62311179 京ICP备05053646号

推荐分辨率1024*768 IE6.0版本

