
电 子 科 技 大 学

(硕) 士 学 位 论 文 开 题 报 告 表

班 学 号: 201321010408

姓 名: 杜阳

论文题目: 超高速 ADC 校准算法的
关键技术研究

指导教师: 阎波

学科专业: 通信与信息系统

所在学院: 通信与信息工程学院

电子科技大学研究生院制表

2014 年 12 月 14 日填

一、学位论文研究内容

班学号：201321010408		姓名：杜阳		入学时间：2013 年 9 月	
学 位 论 文 题 目		超高速 ADC 校准算法的关键技术研究			
学位论文的课题来源： 1 纵向 2 横向 3 自拟					
学位论文类型： 1 基础研究 2 应用基础研究 3 应用研究					
学 位 论 文 研 究 内 容		<p>一、 掌握超高速 ADC 的设计及工作原理，研究实际使用环境中各种误差（失配）因素对其性能的影响，并在此基础上建立等效分析模型；</p> <p>二、 研究并分析已有的超高速 ADC 误差（失配）估计算法和校准算法；</p> <p>三、 重点研究超高速 ADC 误差（失配）数字后校准算法，比较并分析算法的适用条件及性能特点。；</p> <p>四、 选择高性能的校准算法进行实现优化。</p>			

二、学位论文研究依据

选题依据和研究意义

数字信号处理技术已经成为了数字信号时代可或缺的关键技术，现实社会是模拟的，要沟通模拟世界和现实世界，必须通过模拟数字转化器（ADC）来搭起模拟和数字世界的桥梁。随着现代通信与信号处理技术的断推进，数字信号处理技术在高分辨图像，无线通信，雷达、仪器仪表以及消费电子等领域越发可或缺，对 ADC 的要求也越来越高，高速、高精度、低功耗的需求越来越急迫^[1]。

现代的数字通信系统中，传输速率达 Gbps，需要同时具有高精度、高采样频率特性的 ADC 完成采样。主流的实现技术分成时域和频域两大类方法：

一类是在基于频分滤波器组的并行采样技术，主要利用频域上的频带分割技术。这种分割滤波器通常利用模拟域的高通、低通和带通滤波器实现，过渡带的宽度影响整个系统的性能。这种结构的实现需要模拟和数字滤波器，具有非常大的复杂度，目前尚未普及采用，处于研究阶段^[2]。

另一类实现技术通过在时域上用多片 ADC 分时交替进行采样，利用相对速率较低、精度较高的传统 ADC，实现高采样速率高精度的分时 ADC 系统。这种结构硬件实现简单，现已成为并行采样结构 ADC 的主流，并有成熟的商业产品。它利用多片高精度 ADC 芯片分时交替的对模拟信号进行采样，能成倍提升采样速率，并且能保证高精度量化。但是，各通道 ADC 芯片的非理想采样和他们之间的差异性会引起诸如增益误差、直流偏置误差和时钟失配误差等线性或非线性失配误差影响。这些误差极大影响了 TIADC 的性能，必须进行失配误差的校准。大量文献表明，如果进行误差校准，TIADC 系统的有效精度很难达到 8 比特以上但是在目前的工艺条件下，因此需要对时分交替 ADC 系统进行通道失配校准，减小失配，提升系统的性能^[3]。

国内外研究现状和发展态势

并行交替型 ADC 的结构首先由美国人 Black 与 Hodges 于 1980 年提，这种结构包括一组(bank)相对低速的 ADCs，它们在时间上交替并行工作。理论上，对于 M 通道的并行交替 ADC，整个系统采样率为单通道采样率的 M 倍。尽管并行的结构可以实现超高速的采样率这种诱人的特点，它本身也有其固有的缺点，这就是并行带来的多通道 ADC 间的失配误差严重降低了整个 ADC 系统的信噪比 (SNR)。为了降低这些误差对采样的影响，有必要对通道失配产生的误差进行估计和补偿。TIADC 并行采样已经成为国内外的一个研究热点，国内外学者对通道失配对系统性能的影响做了分析。

早先基于单片电路并行交替 ADC 的修正一般利用对前端电路的修调，精心的布局布线来减少通道间失配误差的影响。修调方法的缺点就是当时间，温度和工艺改变后，修正的结果就变为无效。利用数字的方法把通道间失配误差进行平均化，可以部分改善修调结果。然而这使得每个通道的输入频带为 Nyquist 频率的 1/2，即 $f_s/4$ 。另外前端修正需要中断采样过程，这在很多应用中是所希望看到的，从而限制了这种方法的应用。

为了克服前端修正方法的缺陷，可以利用后端处理的方法，后端处理方法需要打断正

常 ADC 的运作，并且对用户来说也是透明的。

并行交替 ADC 系统通道间的失配误差及其数字后处理修正算法是目前并行交替型设计的关键所在。在 TIADC 并行采集系统中，对于通道间失配误差的修正方法，增益误差和偏置误差相对比较容易修正；而对时间相位误差的修正却比较困难，它的修正方法与周期非均匀采样信号的完美重构问题相等价。现行的算法主要有：

一、 基于测试信号校准

1. 利用正弦测试信号^[4]，基于频谱分析给了时基误差的估计方法。
2. 利用锯齿波作为测试输入信号^[5]，实现了对时基误差的估计。
3. 利用最小二乘的正弦参数拟合算法给了时基误差的估计^[6]，但参数估计的方法对系统噪声较敏感。

以上方法都利用已知的测试输入信号进行估计，虽算法简单，但对测试输入信号要求高，算法的精度也依赖于测试输入信号的精度；同时误差测试需要独立于设备日常采样进行，无法后台实现。

二、 自适应的校准

1. 基于 FFT 的频域抵消算法^[7]，通过对各通道信号进行 FFT 运算后侦测到误差频率成分，并通过加权平均抵消误差分量从而实现误差的校准。
2. 基于分数倍延迟滤波的校准^[8]，将子 ADC 的输出直接通过分数倍延迟滤波器完成时钟误差的校准。该方法由于滤波器工作在单通道采样速率下，限制了采样的带宽。
3. 基于通道间相关性的误差估计^[9]，基于时域通道间相关性的失配误差估计算法，该种估计算法原理简单且易于实现，同时资源消耗也相当少，但是需要大量的数据做统计。
4. 基于完美重构的失配误差校准算法^[10]，通过对时钟误差的失配表达式进行了泰勒级数二阶展开，使得对时钟误差的校准只需利用固定抽头系数的微分器即可完成校准，而需要实现可变系数的滤波器，大大简化的校准电路的实现。
5. 基于 LMS 算法的自适应校准算法^[11]，在算法的推导过程中，使用了一阶泰勒近似采用了 Farrow 近似或者是 FMC 计算而得到自适应滤波的结构，导致与基于 FFT 的时钟失配估计算法相比，估计精度相对较低。
 - 1) 基于 Farrow 结构的自适应数字校准算法^[12]，虽然结构很简单，但是可避免的过渡带损失而且有子通道采样速率的限制。
 - 2) 基于 FMC 结构的自适应校准算法^[13]，结构特点为数字滤波器与乘法器的级联，且数字滤波器为有限长冲激响应，额外引入了增益误差。

过上述通道失配误差估计算法大都针对单一误差进行估计。而在实际应用中，通常系统中三种误差都同时存在，我们面对的是三种误差所带来的综合影响；且上述非均匀误差估计算法大都假设系统的失配误差是固定的，也就意味着算法无法跟踪由于仪器老化、温度等环境参数所造成的失配误差的变化。这些都为我们在实际的系统设计中的误差估计带来了难度，如何进行更为有效的非均匀误差估计成为并行采样所要解决的首要问题；运算量过大、实时性差等未很好解决的问题，也需要在研究中重点考虑。

参考文献

- [1] 李宗霖. TIADC 系统时钟失配 FMC 校准算法及 FPGA 实现[D].: 电子科技大学, 2012.
- [2] 姚远. 基于高速 FIR 的分时 ADC 时钟失配误差校准技术研究[D].: 电子科技大学, 2013.
- [3] 焦少波. 基于分时交替的高速高精度 ADC 设计与硬件实现[D].: 电子科技大学, 2013.
- [4] Vogel C, Mendel S. A Flexible and Scalable Structure to Compensate Frequency Response Mismatches in Time-interleaved Adcs[J]. Circuits and Systems I: Regular Papers, Ieee Transactions on, 2009, 56(11): 2463-2475.
- [5] Vogel C, Pammer V, Kubin G. A Novel Channel Randomization Method for Time-interleaved Adcs[C]//Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2005. Imtc 2005. Proceedings of the Ieee, [S.l.]: Ieee, 2005: 150-155.
- [6] Black jr WC, Hodges D. Time Interleaved Converter Arrays[J]. Solid-state Circuits, Ieee Journal of, 1980, 15(6): 1022-1029.
- [7] Saleem S, Vogel C. On Blind Identification of Gain and Timing Mismatches in Time-interleaved Analog-to-digital Converters[C]//33rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing, Baden (austria), [S.l.]: Citeseer, 2010: 151-155.
- [8] Tertinek S, Vogel C. Reconstruction of Nonuniformly Sampled Bandlimited Signals Using a Differentiator-multiplier Cascade[J]. Circuits and Systems I: Regular Papers, Ieee Transactions on, 2008, 55(8): 2273-2286.
- [9] Vogel C, Saleem S, Mendel S. Adaptive Blind Compensation of Gain and Timing Mismatches in M-channel Time-interleaved Adcs[C]//Electronics, Circuits and Systems, 2008. Icecs 2008. 15th Ieee International Conference on, [S.l.]: Ieee, 2008: 49-52.
- [10] Huang S, Levy BC. Blind Calibration of Timing Offsets for Four-channel Time-interleaved Adcs[J]. Circuits and Systems I: Regular Papers, Ieee Transactions on, 2007, 54(4): 863-876.
- [11] Tsai T, Hurst PJ, Lewis SH. Correction of Mismatches in a Time-interleaved Analog-to-digital Converter in an Adaptively Equalized Digital Communication Receiver[J]. Circuits and Systems I: Regular Papers, Ieee Transactions on, 2009, 56(2): 307-319.
- [12] Seo M, Rodwell M. Generalized Blind Mismatch Correction for a Two-channel Time-interleaved Adc: Analytic Approach[C]//Circuits and Systems, 2007. Iscas 2007. Ieee International Symposium on, [S.l.]: Ieee, 2007: 109-112.
- [13] Kull L, Toifl T, Schmatz M, et al. 22.1 a 90gs/s 8b 667mw 64×Interleaved Sar Adc in 32nm Digital SoI Cmos[C]//Solid-state Circuits Conference Digest of Technical Papers (isscc), 2014 Ieee International, [S.l.]: Ieee, 2014: 378-379.

三、学位论文研究计划及预期目标

1 拟解决的关键问题和最终目标，以及拟采取的主要理论、技术路线和实施方案

关键问题

1. 建立超高速 ADC 系统的误差（失配）仿真模型；
2. 超高速 ADC 误差（失配）的估计与校准算法的优化；
3. 算法优化；

最终目标

研究超高速 ADC 中误差（失配）的实时、自适应数字后校准算法的实现。

主要理论

- 1、经典采样原理、采样技术和多速率信号处理；
- 2、周期非均匀采样原理；
- 3、自适应数字信号处理等。

技术路线和实施方案

- 1、在 Matlab 中建立超高速采样系统行为模型，并在 Matlab 中对通道失配误差自适应数字校准算法进行算法级仿真；
- 2、找到一个在算法性能和实现难度之间有较好折衷的自适应数字校准算法；

2 实验条件落实情况，可能存在的问题及解决办法

本论文的工作将在电子科技大学 Freescale 无线通信与嵌入式系统联合实验室进行。实验室现有的设计仿真软件和硬件设备保证了本论文的顺利进行。

3 年度研究计划及预期研究成果		
年度 计划	起始时间	完 成 内 容
	2014 年 12 月	查询并阅读大量高速 ADC 相关论文，理解相关的理论基础，为后期研究打下基础
	2015 年 3 月	研究通道失配误差数字后自适应数字校准算法
	2015 年 4 月	建立高速 ADC 通道失配模型
	2015 年 5 月	建立高速 ADC 通道失配模型，设计仿真和测试方案
	2015 年 6 月	仿真和验证校准算法，撰写论文
学位 论文 特色 或 创新	1. 建立超高速 ADC 系统的等效误差（失配）模型。 2. 研究超高速 ADC 系统失配误差的估计算法； 3. 研究超高速 ADC 系统失配误差的自适应数字后处理校准算法	
最终 成果 形式	算法代码及相关学术论文	

四、开题报告审查意见

1 导师对学位论文选题和论文计划可行性意见，是否同意开题：

签名： 年 月 日

2 评审专家意见

开 题 报 告 会	时间： 年 月 日	点：
	评审专家（至少 3 位）：	

评审专家组对学位论文的选题、方案实施的可行性，是否通过开题报告的具体意见和建议：

组长签名： 年 月 日

3 学院意见：

负责人签名： 年 月 日