

基于数字补偿的实时自动增益控制技术的研究

韩 尧, 秦开宇, 彭启琮

(电子科技大学自动化工程学院 成都 610054)

【摘要】阐述了基于前馈技术的实时自动增益控制的原理及同步和数字补偿等关键技术的实现;介绍了在通信分析仪中的具体应用。采用的实时自动增益控制电路利用信号通路的延迟特性,精确控制模数转换器同步,实时调整信号增益,在数字域补偿误差,扩展系统动态范围。该技术成功应用于通信分析仪,并在雷达、电子对抗和接收机中得到推广。

关键词 模数转换器; 动态范围; 数字补偿; 实时自动增益控制

中图分类号 TN431.1

文献标识码 A

Research on Real-Time Automatic Gain Control Based on Digital Compensation

HAN Yao, QIN Kai-yu, PENG Qi-zong

(School of Automation Engineering, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054)

Abstract This paper introduces the principle of real-time automatic gain control based on feed forwarding technology, and the realization of the critical technologies including digital compensation and synchronization, as well as, the specific application of communication analyzing instrument. The real-time automatic gain control makes full use of the delay feature of signal channel, and controls the synchronization of ADC precisely, and adjusts the signal gain in real-time, and compensates the error in digital domain, at last, this kind of technology expands the dynamic range of system ADC. This technology has been applied to the communication analyzing instrument; meanwhile, it can be extended to the field of radar, anti-electronic and receiver.

Key words analog digital converter; dynamic range; digital compensate; real-time automatic gain control

模数转换器(Analog Digital Converter, ADC)在数字接收机中得到广泛应用,通信中不断采用的新技术,对接收机的ADC在采样速度和动态范围提出了更高的要求。在实际使用中,由于量化噪声、孔径抖动、差分非线性失真、热噪声等误差源的影响,引起ADC输入动态范围及有效输出位数的下降,从而限制了中频信号输入动态范围,无法同时满足速度和动态范围的需求^[1-2]。为了提高系统动态范围,接收机中普遍采用自动增益控制电路(Automatic Gain Control, AGC)。传统接收机采用非实时AGC电路,由于它采取反馈形式,因而不是完全实时的。

本文提出一种实时AGC技术,它充分利用信号通路延迟,实时调整信号增益,满足ADC优化采样的要求,减少量化误差的影响,同时保证信号分析的实时性,很好地解决了非实时AGC的缺陷,因而实时性是其区别于以往AGC电路最大的优点。

1 实时AGC原理

实时AGC原理如图1所示。单级前置滤波器的输出送到检波器和抗混叠滤波器,滤除带外信号,避免采样后产生频谱混叠。抗混叠滤波器有很多级,具有群延迟特性。对于一个输入射频信号,经下变频到中频后,在通过抗混叠滤波器时,会产生超过一定ADC转换时钟周期的延迟。

信号延迟使AGC在ADC对输入信号采样之前有充足的时间辨识即将进来的信号。检波器获取信号的幅度信息后,送入量化器中转化为档位信号,规则处理器则根据档位信号进行相应的增益调节,从而完成AGC的增益处理过程。当中频输入信号为大信号时,根据它的基本逻辑规则降低程控放大/衰减器的增益,防止削顶失真。如果信号包络长时间里保持较小,自动量程电路提高增益来减小量化噪声。ADC后的数字增益相应变化以补偿前面的模拟

增益，从而恢复出中频输入信号^[3]。

该AGC技术采取前馈形式，在信号到达ADC前完成信号调理，保证了ADC的输入在其动态范围内。

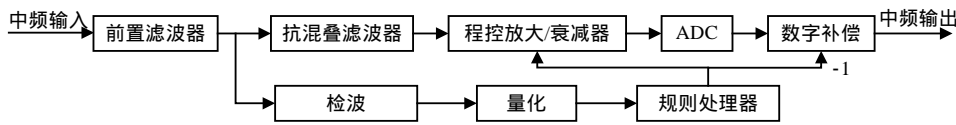


图1 实时AGC框图

2 实时AGC关键技术实现

实时AGC实现上部分借鉴了相对比较成熟的非实时AGC部分技术。

前端模拟放大或衰减量可通过相应的数字反补偿恢复出来。数字信号左移/右移一位，对应的模拟电压放大/衰减一倍。信号功率为 $P=20\lg V-10\lg R$ ， R 为系统特征阻抗。由此可知，数字信号如果左移/右移一位，对应的功率电平放大/衰减6 dB。为了便于信号的恢复，在前端模拟放大/衰减量的选择上以6 dB为一档，现有的数字控制放大/衰减器如AD公司提供的AD8369等，可以根据具体的需要进行选择。

由于模拟器件不可避免的一些缺陷，如放大器增益精度不够、滤波电路存在插入损耗、温度漂移等，中频信号经前端模拟器件调整后会引起电平误差。数字部分的补偿可视为不存在误差，如果数字部分单纯采用移位的方式补偿前端误差是不够准确的，在方案实现上可以采用校准消除误差。

校准时，根据输入信号的范围以及所采用的ADC的动态范围确定出需要处理的几个档位，在每个档位中选取比较合适的校准信号功率电平。因此对应输入信号的理论电压电平是已知的，设为 V_i ，而数字中频的实际电压电平为 V_o ，则 V_o 和 V_i 的功率电平偏差为 $\Delta = 20\lg V_i - 20\lg V_o$ ， $V_i/V_o = 10^{\Delta/20}$ 。假设 Δ 在同一档位为常数，则 $10^{\Delta/20}$ 也是一个常数。测量时，根据ADC的输出处于同一档位的信号，由 $V_i' = V_o' \times 10^{\Delta/20}$ ，可得到中频输入经补偿后的量化结果。 V_i' 对应补偿后的数据， V_o' 对应ADC的输出^[4]。

同步体现在两个方面：(1) 检波电压经量化送入逻辑规则电路，所产生的前端模拟放大/衰减器的控制信号与中频信号到达放大/衰减器的同步问题(以下称第一同步)；(2) 前端模拟放大/衰减器的控制信号与对应的数字补偿控制信号的同步问题(以下称第二同步)。如果同步没有实现，则造成信号的错误放大/衰减，使原本处于ADC动态范围以内的信号落入其范围以外；或者产生前端模拟和数字补偿的不对应，使信号出现畸变，得不到理想的结果。因此

后级数字补偿完成对模拟调理的恢复。整个电路可以视为完成指定动态范围的ADC处理模块，它降低了中频接收机对高速ADC大动态范围的要求。

在实时增益控制的实现上，控制同步是关键因素。

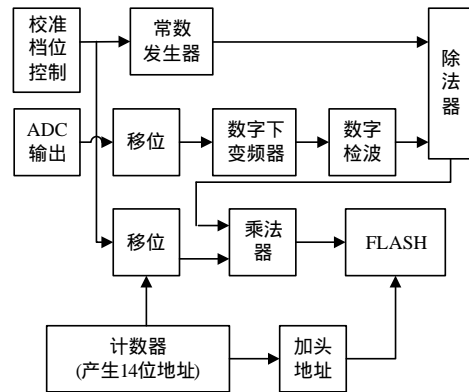


图2 数字校准框图

同步控制涉及模拟电路和数字电路两部分。数字电路的同步容易实现，而模拟电路的建立时间以及稳定时间随着输入信号参数变化和环境的频率、环境温度等不同而有所差异。在实时AGC电路中，第一同步需要抗混叠滤波器的群延迟特性在其带通内为一个常数，并且是采样时钟周期的倍数。第二同步应考虑模拟放大/衰减的建立时间和稳定时间以及ADC的延迟时间，其中模拟放大/衰减的建立时间和稳定时间通常小于一个采样时钟周期，在同步中可以不予考虑。ADC的延迟时间是采样时钟的固定倍数，因此数字控制比模拟控制滞后固定延迟即可。

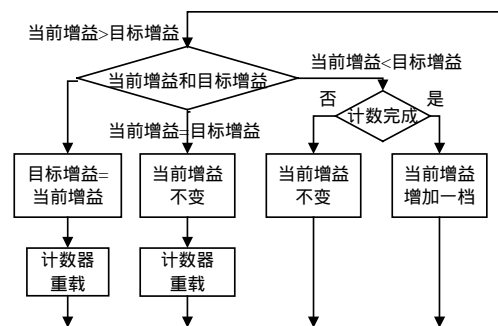


图3 同步处理流程

由于逻辑规则电路中对于不同功率电平的信号同步关系有所不同，信号处理流程如图3所示。计数器中存放的数据是抗混叠滤波器的群延迟所对应的

采样时钟周期。考虑同步的重要性, 实现时选择具有良好时序控制能力的CPLD完成。

3 应用

某型通信分析仪的框图如图4所示。输入信号经下变频后得到10.7 MHz中频信号, 中频信号动态范围为-70 ~ 10 dBm。选用AD公司提供的AD9244, 参考电压为内部提供的1 V基准。由于采用差分输入的形式, 因此最大输入信号为4 dBm。考虑ADC对大信号的削波失真及噪声对小信号的影响, 通过可控衰减器或可变放大器将IF信号调整到-58 ~ -4 dBm, 确保ADC最佳使用, 从而得到了输入功率电平和衰减/放大量以及AGC补偿的对应关系, 如表1所示。

表1 输入功率电平与放大量和衰减量的对应关系

输入功率 电平/dBm	检波电路 输出/V	放大/衰 减量/dB	AGC补偿
20	2.250	-24	左移4位
10	0.710	-12	左移2位
0	0.225	-6	左移1位
-10	0.071	0	保持不变
-20	22.500×10^{-3}	0	保持不变
-30	7.100×10^{-3}	0	保持不变
-40	2.250×10^{-3}	0	保持不变
-50	0.710×10^{-3}	0	保持不变
-60	0.225×10^{-3}	6	右移1位
-70	71.000×10^{-6}	12	右移2位

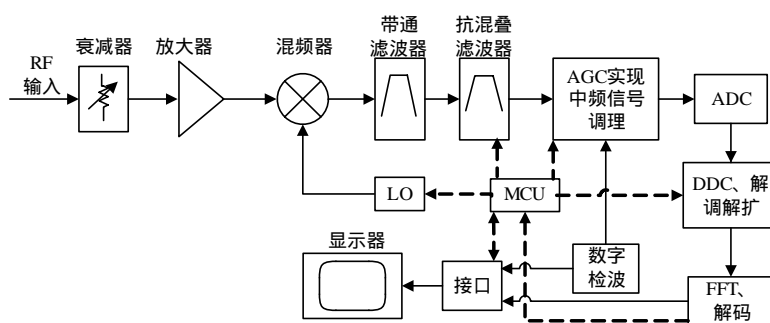


图4 通信分析仪整机框图

由于AD9244的输出位数为14位, 表征的最大输入范围为84 dB。而输入信号的动态范围为90 dB, 因此必须解决信号的代表问题。在设计中有两种方案可供选择: (1) 采用定点数表示, 扩展信号的数据位数; (2) 采用浮点数表示。方案(1)实现简单, 但需要消耗更多的资源; 方案(2)实现复杂, 但资源消耗少。经过反复比较, 选用了方案(1), 将信号的数据位数扩展为16位。

中频信号得到16位数字结果后, 再进行解调解码等处理如数字检波等, 从而得到被测信号的信息, 完成通信分析。

4 结束语

实验结果表明, 实时AGC技术能扩展动态范围达20 dB以上。

实时AGC充分利用抗混叠滤波器的群延迟特性, 采用前馈技术实现ADC动态范围实时扩展, 从而完成了数字中频处理动态范围的扩大。利用FPGA

和高速存储器实现对中频通路的数字补偿, 提高了系统精度和处理速度。

通过对于接收机增加信号延迟的方法, 可以将实时AGC应用在需要扩展系统动态范围的场合, 如雷达接收机、通信、电子对抗等很多系统。

参考文献

- [1] 马明建, 周长城. 数据采集与处理技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [2] 曹鹏, 费元春. 大动态宽带数字中频AGC系统的设计[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(5): 613-616.
- [3] GORIN J. All-digital IF gives new spectrum analyzers FFT speed and swept dynamic range[DB/OL]. <http://www.agilent.com>, 2000.
- [4] GORIN J M, SHEPPARD R D. Auto ranging apparatus and method for improved dynamic ranging in analog to digital converters[P]. United States Patent 5844512, 1997.

编辑 黄莘