

基于 ARM9 的嵌入式数字示波器参数测量模块的设计

程言奎, 李英, 白瑞林, 潘祥

(江南大学 智能控制研究所, 江苏 无锡 214122)

摘要: 针对当前数字存储示波器参数测量算法均是基于 DSP 和内嵌微处理器型 FPGA 实现的, 提出了一种基于 S3C2410 微控制器 (ARM9 内核) 和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时操作系统的嵌入式数字示波器参数测量软件模块的设计方法; 详细分析了参数测量模块中幅度类参数和时间类参数测量算法的设计与实现过程; 最后对参数测量软件模块的性能进行了详细测试, 同时对测试结果的误差进行了深入的分析; 测试结果验证了参数测量模块的准确性和高效性。

关键词: 嵌入式数字示波器; 参数测量; A/D

Design of Distributional Structure Health Monitoring Software Based on Embedded System

Chen Feng

(Institute of Intelligent Control, JIAN NAN University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The design of parameters measurement module for embedded digital oscillograph based on S3C2410 micro controller and real time operation system $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ are discussed. Algorithm for the parameters in the module is analyzeded detaily, and the tolerance of the result is researched. The experiment shows that the module is effective with high precision and speed.

Key words: embedded digital oscillograph; parameter measurement; A/D

0 引言

嵌入式数字示波器是近年发展起来的一种实现波形及其相关参数实时显示的智能终端设备。目前通用的数字示波器多采用 DSP、内嵌微处理器型 FPGA 或 DSP+FPGA 结构。虽然 DSP 数据处理能力强大, 运行速度较高, FPGA 灵活性强, 可以充分地进行设计开发和验证, 便于系统升级^[1-3], 但是 DSP 和内嵌微处理器型 FPGA 一般价格较高, 不适合在低成本的嵌入式数字示波器开发中使用。

ARM 是面向低价位市场设计的一种 RISC 微处理器, 其优势为性价比高, 适合嵌入式数字示波器的需求。当前采用 ARM 芯片设计的嵌入式数字示波器主要为基于 ARM7 内核的微控制器 S3C44BOX^[4-5]。采用这种结构设计的嵌入式数字示波器, 由于时钟频率和并行处理能力较低^[6], 因此通常用于通道数较少的设计中, 无法满足对系统实时性要求较高的多通道嵌入式数字示波器的设计。本文提出了一种基于 S3C2410 微控制器 (ARM9 内核) 和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时操作系统的嵌入式数字示波器设计方案, 并重点分析了嵌入式数字示波器的参数测量模块中各参数的算法设计。

1 总体系统设计

设计的性能指标: 4 通道输入, 采样频率范围为 2kHz~20MHz, 输入电压范围: 0~+4V, 频率、脉宽和幅值 (满量

程) 精度均在 $\pm 0.5\%$ 以内, 10.1 寸 LCD 显示屏作为输出设备, PS/2 鼠标作为输入设备。

系统总体结构如图 1 所示, 采用 S3C2410 微控制器和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时操作系统相结合的设计方法。输入前端采用模数 (A/D) 转换和 FIFO 缓冲存储的结构, 利用 FIFO 在读写控制逻辑、高速数据交换方面的优势, 使多路数据采集和存储同步的同时还可即时改变采样频率切换量程。多路数据传输利用 DMA 传输方式, 提高系统运行效率。输出显示端利用 S3C2410 内部集成的 LCD 控制器将数字量转换成显示屏上的点坐标来显示 4 通道的波形以及相关参数。采用 PS/2 鼠标对人机交互界面进行操作, 减小了系统的体积, 提高了系统的可操作性。

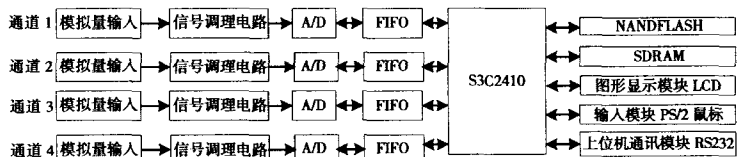


图 1 系统设计结构图

2 软件功能设计

数字示波器的软件功能如图 2 所示。

系统软件划分为数据采集, 数据处理, 参数测量, 波形显示, 鼠标动作处理和输入输出显示 6 个任务。其中参数测量任务是在数据处理任务的基础上对 SDRAM 中已处理完毕的数据按照一定的算法提取信号的各种参数, 参数值将作为波形显示任务的输入和波形一起显示。本文对参数测量任务做详细的阐述。

收稿日期: 2008-05-11; 修回日期: 2008-06-08。

作者简介: 程言奎 (1980-), 男, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要从事嵌入式系统理论与应用方向的研究。

白瑞林 (1955-), 男, 黑龙江双城人, 教授, 主要从事嵌入式系统与智能控制方向的研究。

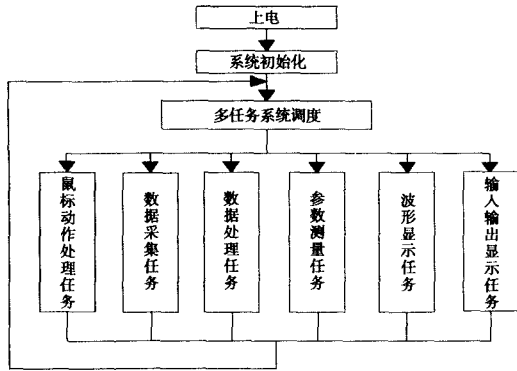


图 2 系统流程图

2.1 参数测量

嵌入式数字示波器的参数分为 2 类: 幅度类参数和时间类参数^[7]。计算幅度类参数的基本依据是各通道的量程; 计算时间类参数的基本依据是时基。在软件设计中, 每一个时基对应一个控制字, 例如: 100 ns=1, 200 ns=2, 500 ns=3。利用控制字的不同来对不同的端口进行操作。图 3 是参数测量的总体流程图, 嵌入式数字示波器 4 通道的参数测量原理和 2 通道的参数测量原理相同, 这里以 2 通道为例。

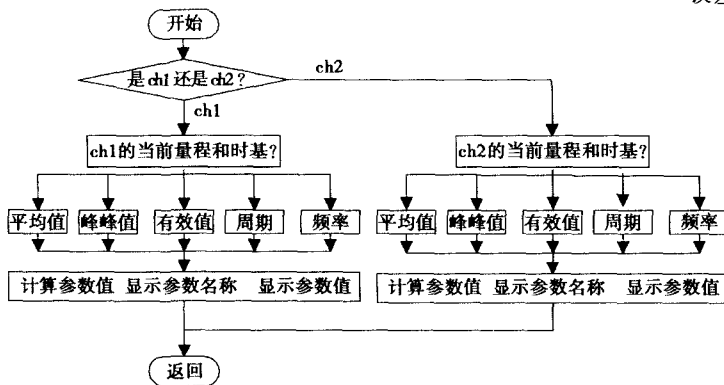


图 3 参数测量并显示的总体流程图

参数是在 4096 (采用 4K 的 FIFO, 每次处理 4096 个数据) 个点的波形数据中计算的, 计算之前波形数据要先剔除奇异点, 把剔除奇异点之后的数据作为计算的依据。采用限幅滤波的方法确定奇异点, 把每一个数据与它前后的数据进行比较, 若前面的数据变化趋势和后面的数据变化趋势相同, 变化幅度则不受限制; 若前后的数据变化趋势不同, 变化幅度要受限制, 拐点既为奇异点。

2.2 幅度类参数测量

幅度类参数包括峰峰值、平均值和有效值 3 个参数。

2.2.1 峰峰值的测量

V_{top} (幅度顶值) 和 V_{base} (幅度底值) 就是脉冲波形的 100% 和 0% 电平值, 是脉冲参数自动测量的核心。确定了 V_{top} 和 V_{base} 值才能计算脉冲的其他参数。当脉冲顶部和底部有严重失真时, 顶值和底值很难确定。数字示波器借助参数自动测量功能, 采用“频数直方图密度分布众数算法”确定 V_{top} 和 V_{base} ^[8]。具体做法如下。

先判断奇异点, 并剔除奇异点, 以剩余点为单位计算。先比较出点中的最大值和最小值, 最大值和最小值之差为采样点

的峰峰值, 峰峰值的范围为 0~4095, 既没有单位也体现不出量程的信息。只有把这个由采样点得到的峰峰值与当前的量程档位结合起来才可以表达出准确的波形信息。先初始化最大值为 $imax=0$, 最小值为 $imin=4095$ 。然后将数据依次读入, 若读入的数据小于 $imin$, 则将读入的数据赋给最小值 $imin$, 依次用 $imin$ 和读入的新数据比较, 找出最小值。最大值的寻找方法是将读入的数据赋给最大值 $imax$, 依次用 $imax$ 和新读入的数据比较直到找出最大值。最大值和最小值之差既为峰峰值, 具体程序如下:

```

imax = 0;
imin = 4095;
for (i=0; i<剩余点数; i++)
{
  X = *ramaddr; //读入新的数据
  if (imin > x) imin = x;
  if (imax < x) imax = x;
  ramaddr++;
}
Vpp = imax - imin; //求出峰峰值
  
```

最后将 $Vpp * 幅度 / 50$, 既为所要求的峰峰值。在峰峰值的测量中, 奇异点的剔除是必要的, 它尽可能的减少了部分误差。

2.2.2 平均值的测量

有关平均值的计算方法有以下几种:

- (1) 按屏幕显示的所有点的数据来计算;
- (2) 剔除掉奇异点后, 以剩下所有点的数据来计算;
- (3) 剔除掉奇异点后, 用周期整数倍内的波形数据来计算;
- (4) 剔除掉奇异点后, 用半周期整数倍内的波形数据来计算。

这里采取误差相对较小的计算方法, 判断奇异点并剔除奇异点后, 再判断波形数据中有没有半个以上的周期, 若有则用在半周期整数倍内的波形数据来计算参数, 否则就用屏幕显示的所有点的数据来计算。平均值计算公式如式 (1)。

$$mean = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n \quad (1)$$

然后 $mean$ 与采样值为零点的零电平进行比较, 若大于零电平则认为平均值为正, 若小于零电平认为平均值为负, 最后与当前的量程结合起来得到波形的平均值信息。既平均值 * 幅度 / 50 为所要求的平均值。

2.2.3 有效值的测量

有效值的测量公式如式 (2)。

$$rms = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} \quad (2)$$

x_1 直到 x_n 为 n 个采样点与零电平之间的差值。先判断奇异点并剔除奇异点后, 再判断波形数据中有没有半个以上的周期, 若有, 则用在半周期整数倍内的波形数据来计算参数, 否则, 就用屏幕显示的所有点的数据来计算, 后 $rms * 幅度 / 50$, 既为有效值。

2.2.4 测量幅度误差分析

测量的随机误差主要是仪器内部在对模拟信号进行数字化的过程中, 最后一位加或减带来的误差, 既由仪器分辨能力带

来的误差^[9]。本文设计的数字示波器垂直分辨力为 12 位，对每个采样点进行数字化，都依次执行 12 次逼近，最后一位的分辨力达到 1/4096，0.024%。但是这不能说使用数字示波器测量时，能给出 0.024% 的相对误差，而是要根据信号在屏幕上偏转的实际高度来推算。

首先假设垂直灵敏度为 1V/div，满量程 4div，幅度 4V。那么数字示波器内部在进行数字化过程中，最后一次逼近的分辨力为 1/4096 * 4V = 0.976mV，真值的最末一位存在的范围 -0.976mV ~ 0.976mV，既通常所说的 ±0.976mV。于是可以给出准确的说法，测量的结果是 10V ± 0.976mV。其中 10V 是测量给出的数据，是接近真值的数据；±0.976mV 是最末一位可能存在的范围。±0.976mV 是测量中的绝对误差，换算成相对误差就是 0.0976%。由此得出结论：用数字示波器测量波形，当波形的垂直偏转为 4V 时，测量结果的相对误差为 0.0976%。

2.3 时间类参数测量

时间类参数包括周期，频率，脉宽等。这里重点介绍周期参数的测量。

2.3.1 频数直方图密度分布众数法

顶线和底线是大多数参数测试的核心，波形的顶线和底线不一定是波形的最大和最小值。譬如，有小毛刺的脉冲波形，应为波形常常稳定在这些小毛刺下面，如果把最大值作为顶线就是错误的。最一般常见点是指那些出现次数超过整个显示点数的 5% 反复出现的点。如果没有这样的点存在，则正（负）峰值作为正（负）脉冲波形的顶（底）线值。把正（负）峰值作为脉冲波形的底（顶）量值。直方图程序流程图如图 4 所示。

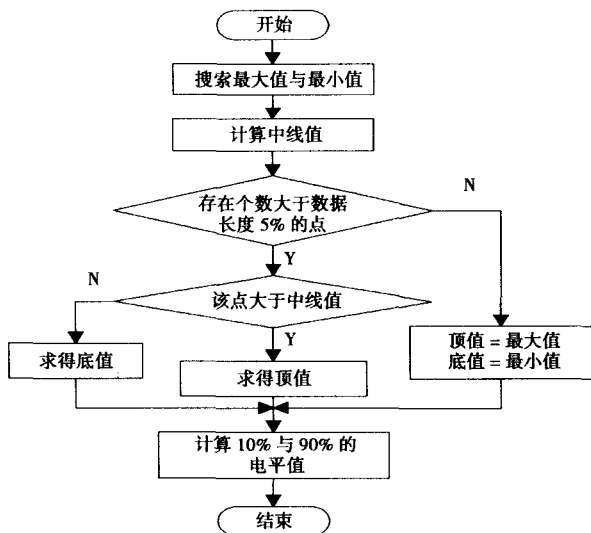


图 4 直方图程序流程图

2.3.2 周期和频率的测量

根据定义，信号频率的测量以周期为基础，先测出周期，其倒数即为频率，若周期不存在，频率也不存在。根据定义计算周期的步骤为：

- (1) 利用直方图确定出信号的顶值和底值；
- (2) 可以计算出 50% 电压值：50% 电压值 = 底值电压 + (顶值电压 - 底值电压) * 50%；

(3) 对于周期的测量需要找到连续的 3 个数值和 50% 电压值相等的点的屏幕坐标；当没有恰好等于 50% 电压值时，找到与 50% 电压值最接近的点；

(4) 周期 = (第三个 50% 点的坐标 - 第一个 50% 点坐标) * 单位时间值
(单位时间值 = 当前时间值 / 50)

当时基较小，一屏可以显示几个周期的数据时，可以求出所有 50% 点，通过 50% 点的平均值的方法改进该算法。由于一屏为 500 个点，当第三个 50% 点不是第 500 个点时可以继续寻找下一个 50% 点直到第 500 个点为止。因此周期 = (第 N 个 50% 点的坐标 - 第一个 50% 点的坐标) / (N - 1) * 2 * 单位电压值。程序流程如图 5 所示。

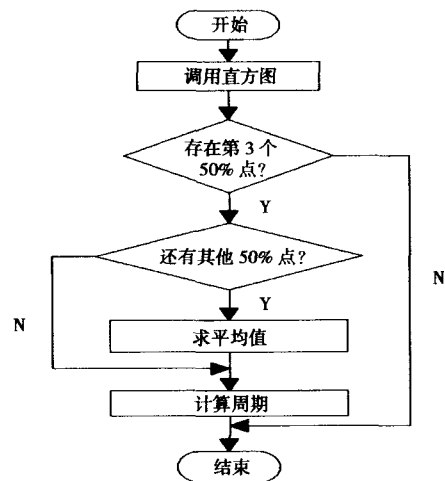


图 5 周期计算流程图

3 测试与结论

为了验证参数测量模块的精度，利用信号源对整个系统进行了测试。外加方波信号，4 个通道同时采集，测试结果如表 1 所示。可以看出外加信号频率越小测量误差越大。在给定信号周期为 200μs，采样频率为 5MHz 时，通道 1 和通道 4 的误差最大为 0.035%，在允许的误差范围之内。用 5kHz ~ 2MHz 这一频率段内的方波信号对参数测量模块进行了验证，结果表明该模块测量精度高，运算速度快，完全符合设计要求。

表 1 测试结果

采样频率	给定信号频率	给定信号周期	LCD 显示的各通道周期值			
			通道-1	通道-2	通道-3	通道-4
20MHz	400k	2.5μs	2.5μs	2.5μs	2.5μs	2.5μs
	200k	5μs	5μs	5μs	5μs	5μs
	100k	10μs	10μs	10μs	10μs	10μs
	50k	20μs	20μs	20μs	20μs	20μs
5MHz	20k	50μs	50.02μs	50.02μs	50.02μs	50.02μs
	100k	10μs	10.00μs	10.00μs	10.00μs	10.00μs
	50k	20μs	20.00μs	19.99μs	20.00μs	20.00μs
	20k	50μs	50.01μs	50.01μs	49.98μs	15.01μs
	10k	100μs	100.03μs	100.03μs	99.96μs	100.03μs
5k	200μs	199.93μs	200.04μs	200.04μs	199.93μs	

(下转 1835 页)

由 VHDL 描述并创建的电路符号, 可以在 AHDL 硬件描述语言和图形化的硬件描述语言中被方便引用, 从而实现 CPLD 器件功能的混合编程。

2.2 系统测试程序

系统测试程序是用于验证和检测整个系统功能是否符合设计要求, 其主要的测试思路如图 6 和图 7 所示。

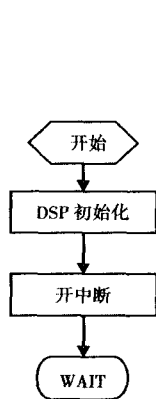


图 6 中断测试主程序

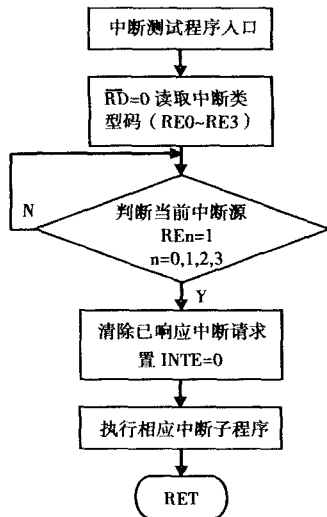


图 7 中断测试子程序

通过对 DSP 进行编程, 实现 DSP 在接收到外部中断请求后, 根据不同的中断类型码来响应不同的外部中断。

3 软硬件系统联合调试

中断测试程序可通过 JTAG 接口烧写入 DSP 片内 FLASH 中, 但由于在调试时, 需要频繁地修改和装载程序, 而片内 FLASH 有烧写次数的限制, 而且操作也不方便, 所以在调试时一般不把程序直接烧到片内 FLASH 中运行, 而是把它下载到外扩的 64K 存储芯片 IS61LV6416 中, 再由运用 CCS 通过仿真器便可以很方便地实现实时的在线仿真调试^[6]。

在对 CPLD 的调试时, 要对所设计的程序进行仿真、校验, 直至仿真结果符合要求, 最后将网表文件用过 JTAG 口装

载到 CPLD 中。在 CPLD 管脚分配时, 频率较高的信号尽量分配至与地线相邻的芯片可用 I/O 引脚, 由于芯片的引脚间距较小, 最好不与其他信号线相邻, 以减小电路的干扰; 不用的专用输入引脚应当接地, 而不用的 I/O 引脚则一定不可接地, 如接地将有可能损坏器件, 在设计使用时采用了悬空的方法。

在软硬件联合调试时, 用占空比可调信号发生器作为系统的中断源, 并通过示波器观察系统对中断的响应情况。经调试, 系统的工作完全符合设计要求, 并且完全实现了中断控制器 8259A 的基本功能, 即高优先级的中断先进行响应, 而且高优先级的中断可以打断低优先级的中断, 但低优先级的中断不能打断高优先级的中断。

4 结束语

在高速运行的无人机飞控计算机系统中, 中断提高了 CPU 对外部事件的响应速度, 良好的中断控制器将有效地提高无人机飞控系统的实时性。本中断控制器不仅较好地改善了系统中中断的扩展和管理能力, 而且采用的 CPLD 仿真 8259A 的方法, 还可以移植到以其它处理器为核心的无人机飞控系统中 (如以 ARM 和单片机为处理核心的系统)。并且依靠 CPLD 强大的逻辑扩展能力, 完全可以在单片的 CPLD 中实现多个 8259A 级联工作的设计, 很好地实现了中断的多级扩展与嵌套, 并且大大提高了无人机控制系统的集成度, 降低了电路的设计难度。

参考文献:

- [1] 王 斌, 罗秋风, 王海涛. 某小型无人机的飞行控制计算机的硬件设计 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (10): 1355-1357.
- [2] 何苏勤. TMS320C2000 系列 DSP 原理及应用技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] 于枫等. ALTERA 可编程逻辑器件应用技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] MAX7000 Programmable Logic Device Family [EB]. Altera Inc. 2001.
- [5] 侯伯亨. VHDL 硬件描述语言与数字逻辑电路设计 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999.
- [6] 方国军, 王海涛, 罗秋风, 等. 某小型无人机的串行通信程序的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (12): 1850-1851.
- [5] 徐爱国, 宋爱国. 基于 UCOS 和 UCGUI 的嵌入式数字示波器 [J]. 测控技术, 2007, 6: 7-8, 28.
- [6] 缪亚林, 缪相林, 卞正中. 基于 ARM7 处理器 LPC2104 的嵌入式数据采集系统 [J]. 计算机工程与应用, 2005, 28: 104-107.
- [7] 赵 琪, 田书林. 100MHz 数字存储示波器的软件设计——参数测量与人机交互功能的实现 [D]. 电子科技大学. 硕士学位论文.
- [8] 陈长龄, 宋玉娥. 按模拟示波器检定方法评价数字示波器的若干问题 [J]. 电子科技大学 [J]. 计量技术, 2000, (2): 43-46.
- [9] 申其祥, 舒 艳, 于丽娟. 数字存储示波器测量幅度的误差分析 [J]. 宇航计测技术, 2001, 21 (5).
- [10] 李冬辉, 刘 勇, 王 斌. 基于 LABVIEW 的微震实时监测系统 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (1): 30-32.

(上接第 1824 页)

参考文献:

- [1] Mota H O, Vasconcelos F H. A partial discharge data acquisition system based on programmable digital oscilloscopes [A]. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference [C], 2001, 2: 994-999.
- [2] 杨林楠, 李红刚, 张丽莲, 等. 基于 FPGA 的高速多路数据采集系统的设计 [J]. 计算机工程, 2007, 4: 246-248.
- [3] 周长林, 肖贻峰, 王玉东. 基于 DSP 的 G. 729A 编解码的实时实现 [J]. 仪器仪表学报, 2007, 10: 1911-1915.
- [4] 王国杰, 张 惠, 贺洪江. 基于 μ C/OS-II 的数字示波器系统设计 [J]. 自动化技术与应用, 2007, 6: 68-70.