

基于 PC104 总线的加速度计数据采集系统设计* 与实现

宋敏达, 许化龙, 李 华, 王 凯

(第二炮兵工程学院, 西安 710025)

摘 要: 加速度计是捷联惯导系统的核心部件, 由于捷联惯导系统恶劣的工作环境, 通常以 I/F 转换或 A/D 采样方案设计的加速度计数据采集系统在测试中均有局限性, 因此基于 PC104 总线提出 I/F 和 A/D 相结合的方法, 设计了高精度加速度计数据采集系统, 该系统同时具有 I/F 和 A/D 方案的优点。从参数标定中可以看出, 无论是精度、实时性、可靠性, 还是动态测试范围都得到了极大的改善, 其中测量精度远高于 $10^{-5}g$ 。

关键词: PC104 总线; I/F; A/D; 数据采集; 标定

中图分类号: TJ765.3; TP274.2 文献标志码: A

Design and Realization of Accelerometer Data Acquisition System Based on PC104 Bus

SONG Minda, XU Hualong, LI Hua, WANG Kai

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: Because of harsh environment that strapdown inertial guidance system works in, the conventional accelerator data acquisition systems (ADAS) such as I/F converter and A/D acquisition have limitations in testing. Therefore, a new method which combing I/F and A/D based on PC104 bus was proposed, and an ADAS module with the advantages of I/F and A/D schemes was designed. It can be found from the parameter calibration that the dynamic measurement range, accuracy, reliability and real-time are improved greatly. The accuracy is far higher than $10^{-5}g$.

Keywords: PC104 Bus; I/F; A/D; data acquisition; calibration

0 引言

加速度计作为捷联惯导系统的核心部件, 其测量系统的精度和性能直接影响到惯导系统的精度^[1], 因此研制高性能的加表信号采集系统一直是国内外关注的重点。由于在捷联惯导系统中对采集系统要求很高, 传统的设计方案和工程实践都不尽如人意。PC104 是一种专门为嵌入式系统而定义的控制总线, 具有体积小、功耗低、可靠性高、维护方便、与 PC 机兼容等优点。因此, 提出基于 PC104 总线, 采用 I/F 和 A/D 相结合的方案, 其测量精度为 $10^{-5}g$, 测量范围为 $\pm 20g$ 。

1 加速度计数据采集系统总体设计思想

1.1 I/F 转换+A/D 采集方案

目前有两种高精度数据采集方案获得了广

泛的应用, 它们是 I/F 变换和 A/D 转换, 有各自的优缺点和使用范围。

若采用 A/D 方案, 市面上有大量的 ADC 芯片可供选用, 转换速率能达到几 ns, 采样频率一般的也能达到几十 KSPS, 而且很多产品内部集成了温漂、零偏等自校正和补偿功能, 同时内部集成模拟低通和数字滤波器, 更高的集成度带来了性能的提升和应用的方便。对于加速度计信号采集方案, 要求测量精度能小到 $10^{-5}g$, 测量范围达到 $\pm 20g$, 为了能够实时地获得高分辨率的加速度信号, 至少需要 $\log_2 2 \times 10^6 \approx 20$, 93bit 的 ADC 分辨率, 虽然目前市场上有大量 24bit 分辨率的 $\Sigma - \Delta$ 型 ADC 可选, 但在测量过程中, 是将加速度计输出的电流量转化为电压量 (加精密电阻), 经过放大、滤波等, 由 A/D 转换芯片转换成数字量。由于 A/D 转换芯片、运放、电阻等均

* 收稿日期: 2008-12-15

作者简介: 宋敏达(1985-), 男, 湖南娄底人, 硕士研究生, 研究方向: 导航、制导与控制。

受环境温度影响较大,而且模拟、数字量混杂,高频、低频信号交互影响,噪声难以控制,在实际工程应用中测量难度很大,后几位的测量精度难以保证,因此,如果采用 A/D 方案很难保证如此大的动态范围。即使可以保证测量精度,但是组合输出的脉冲信号必须进行连续实时测量,不允许丢失任何脉冲信号,而 A/D 无法克服信号的丢失,这样对整个系统的精度将产生较大的影响。

若采用电流/频率(I/F)转换的方法,由于在信号转换的过程中要经过积分处理,因此它能保证信号无任何的丢失;将电流信号转换为脉冲信号,抗干扰性强,接口电路也会十分简单。理想情况下,I/F 转换芯片可以将任意小的电流积分后转换为相应的频率,因为只要积分时间足够长,总会有输出脉冲串。然而实际上这是不可能的,因为在小电流情形下,电容的漏电流,放大器的输入偏置电流和输入失调电压对线路的影响就非常重要,此外电路还要不可避免地受到温度的影响,当电流更小时,积分时间会更长,对于快速测试的场合显然是无法接受的。即使没有漏电流,系统积分需要很长一段时间才会产生一个脉冲,在这段时间内,系统采集不到任何的信号,很难满足捷联惯导系统测试的要求。

因此,提出利用 A/D 和 I/F 相结合的方法(如表 1 所示^[2]),设计了一种基于 PC104 的动态测量范围宽、精度高、实时性强、可靠性高的加速度信号采集系统。具体电路原理图如图 1 所示。

表 1 各采样方案比较

采样方法	优点	缺点
A/D	转换速率快,采样精度高,分辨率高	忽略小信号,接口电路要求高,丢失信号
I/F	抗干扰性强,接口简单,不会丢失任何信号	分辨率低,采样精度不高,转换速度不快
A/D+I/F	抗干扰性强,转换速率快,采样精度、分辨率高,无信号丢失	对解算计算机要求高,价格较贵

系统主要由四部分组成:A/D 转换电路、I/F 转换电路、计数电路、PC104 处理器。I/F 转换电路由电流积分器、积分电容、恒流源组成。A/D 转换电路由信号调理电路和 AD 转换器组成,信号调理电路由电压跟随器、放大器、滤波电路组成,主要实现对电压信号进行隔离、放大、滤

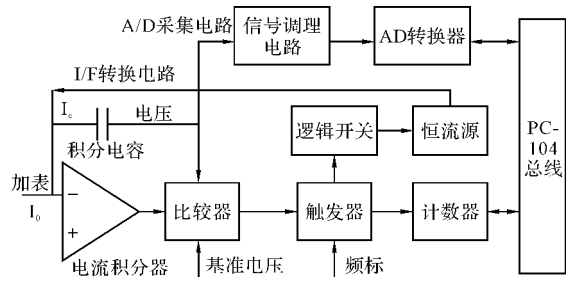


图 1 数据采集电路原理图

波。计数电路由计数器、触发器、逻辑开关组成。

1.2 I/F+A/D 具体工作原理

利用 A/D+I/F 相结合的主要思想就是利用 AD 对小信号的测量来克服 I/F 转换的不足。当积分电容两端的电压高于比较电压时,采用计数器计数;当低于基准电压时,采用 A/D 测量积分电容电压,通过电荷守恒可以解算出等效的频率^[3](为小数)。

在每个基准频率上升沿到来的时候,积分电容的电压和比较器的比较电压相比较,如果达到了比较电压,触发器一路触发计数器计数,另一路触发恒流源,使积分电容上积累的电荷通过恒流源放掉,其中放电时间设定为一个频标周期^[2]。在每次放电结束的瞬间,均用 A/D 测出积分电容的剩余电压(如图 2 所示)。在加速度计大信号输入时,每个频标周期都会出现一次放电脉冲,此时利用计数器进行测量。如果在加速度计小信号输出的情况下,利用电荷守恒,通过测得的当前剩余电压与前一时刻的剩余电压之差就能够解算出等价的脉冲量。由此可以看出,在加入 A/D 采集后,分辨率就是 A/D 转换芯片的分辨率,极大地提高了系统的分辨率和精度。因此,I/F+A/D 的方案不仅避免了单独采用 I/F 或 A/D 的缺陷,还同时具有他们的优点。

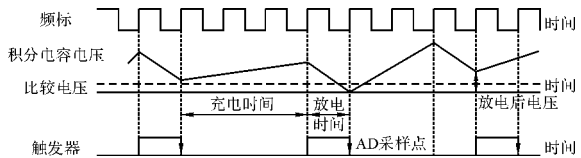


图 2 I/F 和 A/D 工作时序

1.3 计数方法的选取

频率测量的常用方法有测频法,测周期法和多周期同步测频法^[4]。由于弹载加速度计组合输出的脉冲信号必须进行连续实时测量,不允许丢失任何脉冲信号,而且在加速度计应用过程中,其采样周期是固定的,因此测周期法和多周

期同步测频法都不能满足要求。

直接测频法选用标准信号作为闸门信号,而将待测信号作为填充脉冲,设闸门时间为 t , 填充脉冲为 N , 则频率 $f = N/t$, 这种方案的精度为 $df/f = dN/N - dt/t$, 其中 dt/t 为频标引起的误差, 可以忽略, dN/N 为计数误差, 计数中存在 ± 1 个不可消除的系统误差。虽然有 ± 1 个计数误差, 但从加速度计的整体应用过程来看, 这 ± 1 个脉冲会在前一个或后一个采样周期内测得, 经过连续积分后这些信息不会丢失, 不会产生误差。设计数总的周期数为 n , 第 i 个周期的计数个数为

$$N_i, \text{ 那么其误差仅为: } \pm 1 / \sum_{i=1}^n N_i.$$

2 加速度计数据采集系统软、硬件设计

2.1 元器件选取

PC/104 总线是一种专门为嵌入式控制而定义的工业控制总线, 它的模块化^[4]、通用化的系统更易于维护、扩展, 能减少重复学习、重复开发的成本。因此, 整个系统都是基于 PC104 总线规范进行设计的。

1) 处理器。由于对计算机要求比较高, 采用 EuroTecH(欧泰)公司的 CPU1432 模块, 此模块与普通的计算机主板无异, 大小仅 90mm × 96mm, 却具有高主频(266MHz), 完全能满足系统测试的需要。

2) A/D 采集电路。A/D 采集电路由信号调理电路和 A/D 转换器组成。信号调理电路实现对积分电容两端的电压信号进行隔离、放大、滤波。A/D 采集电路对小信号进行测量。如果对 $< 0.4g$ 的信号采用 A/D 进行测量, 则至少需要 $\log_2 0.4 \times 10^5 \approx 15.29$ bit 的分辨率, 另外还需考虑芯片的非线性度、灵敏度和温度敏感度, 因此采用 16bit 的 AD976A。

3) I/F 转换电路。I/F 电路的核心器件为积分电容, 一般选取聚四氟乙烯(CF)或聚苯乙烯(CB)型温漂小、漏流小的电容。恒流源电路也应该选取温漂小的器件。为了缩短开发周期, 采用青岛半导体研究所的 JTH111 芯片。

4) 计数电路。计数电路的要求相对较低, 触发器可以利用 D 触发器, 也可以通过软件的方式实现。笔者采用 3 块 8254 和 1 块 8259 组成, 触

发信号是通过 8259 中断信号实现的。

2.2 系统软件实现

系统软件部分主要完成的是对连续的频率脉冲信号和电压信号进行连续测量。源程序包括 8254 初始化、中断(8259)初始化、AD976A 初始化, 计数程序、中断服务程序、AD 采集及参数解算程序。在 PC104 模块中可以直接利用 VC 进行调试, 由于该模块通常是配合其它仪器实现的, 为了提高运行速度笔者通过 TC 直接对其编程, 其软件流程图如图 3 所示。

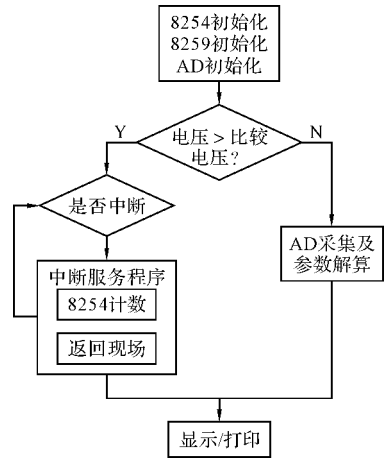


图 3 计数程序流程图

3 加速度计信号采集系统参数标定

标度因数是系统一个非常重要的性能指标, 它直接影响着测试的精度和稳定性, 因此需要对系统进行标定, 从而进一步提高精度。

静态参数标定依照国军标 GJB1037 - 90, 采用四点翻滚测试法, 可以得到采集系统的零偏、零偏随机漂移、零偏重复性、正向标度因数、负向标度因数、正向非线性度、负向非线性度、正负通道对称性等参数^[5](如表 2)。图 4 为电流的标度因数和线性测试曲线; 图 5 为静态测试曲线。

表 2 系统性能参数

参数	参数值	参数	参数值
零偏/Hz	3.1	负向标度因数	10002.45
零偏随机漂移/Hz	0.16	正向非线性度/%	3.00E-03
零偏重复性/Hz	0.3	负向非线性度/%	2.70E-03
正向标度因数	10003.11	正负通道对称性/%	1.29E-02

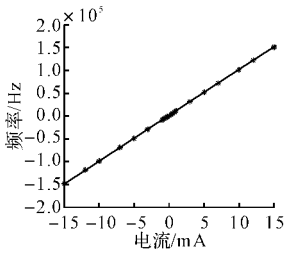


图 4 电流-频率曲线

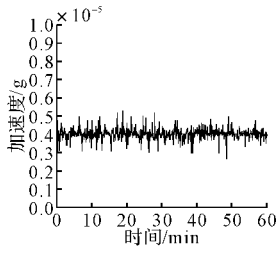


图 5 加速度静态测试曲线

动态测试由两部分组成, $\pm 1g$ 范围内在高精度转台上完成, 大于 $\pm 1g$ 在离心机上完成。在转台上作幅度为 5° , 周期为 5s 时的摇摆曲线时, 其动态测试曲线^[6]如图 6。

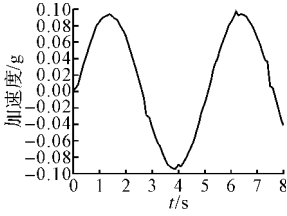


图 6 加速度动态测试曲线

4 结论

测试结果表明, 加速度计数据采集系统达到了量程 $\pm 20g$, 精度远高于 $10^{-5}g$, 每秒能够输出 50000 个数据, 满足实时性、高精度、宽动态范围

的应用需求, 为惯导系统数字化提供了便利。系统解决了几项关键技术, 如 I/F 和 A/D 相结合电路设计, PC104 总线接口电路等。该种数据采集系统已经在部队投入使用。

参考文献:

- [1] Lawrence A. Modern inertial technology, navigation, guidance, and control [M]. New York: Springer-Verlag Inc., 1998.
- [2] 贾苹, 李志宏. 捷联系统中加速度计的信号采集 [J]. 武汉理工大学学报, 2003, 27(2): 260-263.
- [3] Un-Ku Moon, Gabor C Temes, Jesper Steensgaard. Digital technique for improving the accuracy of data converters [J]. IEEE Communications Magazine, 1998, 4(10): 136-143.
- [4] Xiao Y C, Wei P, Xiao X C, et al. Fast and accurate single frequency estimator [J]. Electronics Letters, 2004, 40(14): 910-911.
- [5] 王新国, 李爱华. 光纤陀螺测试系统设计 [J]. 现代电子技术, 2004, 27(24): 46-47.
- [6] Hung Chao Yu, Lee Sou-Chen. A calibration method for six-accelerometer INS [J]. International Journal of Control, Automation and Systems, 2006, 4(5): 615-623.

(上接第 289 页)

为每帧 8 个字节, 最后一帧有效数据为 1 个字节。传输结束后, 将分段编号结合表 2 所示数据传输通信序列进行数据解包, 组成有效数据进行处理。

分段传输过程中可能会被其它报文打断, 应按照以下不同情况处理: 如果收到单段报文, 则处理完该报文后继续当前分段传输过程, 直到接收完成; 如果收到与规则不符的分段传输报文, 当前传输过程即中止, 返回错误码。

3 总结

文中设计的基于 CAN2.0B 协议规范的应用层协议应用于机载通信系统, 可以使各个总线节点有效地组成一个整体网络, 后续节点在开发过程中遵循此协议, 即可使产品描述标准化, 更有效保障产品的一致性, 增强 CAN 总线的可靠性和确定性。另外 CAN 总线应用层设计的灵活性可以满足机载数据通信的不同传输需求, 这也

使其成为一种很具潜力的机载数据总线。经仿真测试, 证明了系统具有较高可靠性、实时性和抗干扰性。

参考文献:

- [1] 饶运涛. 现场总线 CAN 原理与应用技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [2] 张朝, 吴旭光, 苏娟, 等. CAN 总线在鱼雷制导系统的应用研究 [J]. 弹箭与制导学报, 2007, 27(2): 134-136.
- [3] Anders Emrich. CAN application in avionics [R]. European Space Technology Centre, 2000.
- [4] Lopez-F-Tortosa, Roos P. The CAN bus in spacecraft on board applications [C] // Proceedings of the DASIA 2004 Data Systems in Aerospace. ESA, 2004.
- [5] 马昕, 路亚娟. 鱼雷制导系统 CAN 应用层协议的制定方法 [J]. 兵工自动化, 2006, 25(11): 1-2, 5.
- [6] 方仕雄, 李奇. 一种主从式的 CAN 总线高层协议设计及应用 [J]. 测控技术, 2006, 25(8): 47-49.