

磁存储读写通道伺服 Burst 信号采样模型的优化与仿真分析^{*}

吴非¹ 袁宏志² 王庆东¹ 谢长生¹

(华中科技大学计算机学院教育部外存储国家专业实验室 武汉 430074)¹

(湖北工业大学 武汉 430064)²

摘要 在伺服系统中,为了计算出伺服位置误差信号(PES),需对伺服 burst 信号进行高精度采样并通过 FFT 计算。但目前大多数公司为了降低成本,使用带硬盘控制器芯片 88i6310 作为伺服读写通道控制芯片,其读写通道伺服系统都采用 6 位 ADC 转换器,并且伺服系统和数据信号共用采样电路。由于采样时会产生量化噪声干扰,因此对伺服 burst 信号来说 6 位分辨率的 ADC 转换器显然是不够的,经过 FFT 计算后 burst 信号会产生较大的误差。首先依据采样量化误差模型分析了现有的伺服系统过采样模型,并提出了改进型的伺服系统过采样模型。通过仿真得知,改进型采样方案将平均量化误差由原来的 0.38LSB 降到了 0.14LSB, ADC 转换器的分辨率由原来的 7.5bit 提高到 8.8bit。

关键词 读写通道,伺服信号,重采样,数据存储

Optimization and Emulational Analysis on Sampling Model of Serve Burst Signal in Read/Write Channel of Magnetic Storage

WU Fei¹ YUAN Hong-zhi² WANG Qing-dong¹ XIE Chang-sheng²

(National Storage System Laboratory, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)¹

(Hubei University of Technology, Wuhan 430064, China)²

Abstract In order to calculate the serve position error signal (PES) in the serve system, it is necessary to make high definition sampling and FFT calculation for the burst signal. Based on the reference, for reducing cost purpose, most designers adopt 6-digit ADC convector in the read-write channel serve system of hard drive controller chip 88i6310, and both serve system and signal system share the sampling circuit. Because of the quantitative noise disturbing during the sampling process, it is not enough to use 6-digit ADC converter for the serve burst signal, and significant deviations exist for the burst signal with the FFT calculation. This article analysed the existing serve sampling statistic model by quantitative error model first, and provided the enhanced serve system sampling model. The simulation shows that, the enhanced solution reduces the average quantitative error from 0.38LSB to 0.14LSB, and improves the resolution of ADC convector from 7.5 bits to 8.8 bits.

Keywords Read/write channel, Serve signal, Resampling signal, Data storage

1 引言

随着信息技术的快速发展,对大容量数据的存储及高速的数据传输产生了巨大的需求,存储设备的记录密度和传输速率也在快速增长。而读写通道作为信息存储系统的重要组成部分,如图 1 所示,由计算机产生的数据或从网络下载的数据经适配器、控制器进入读写通道,再经信号转换装置(磁头或光头)将数据记录在存储媒体上,称为写入数据。其逆过程则是读出数据^[1,2],通过信号转换装置读取已存储在媒体上的信息(表现为读出波形),再经过读写通道变换为脉冲序列,则含有数据和时钟的脉冲混合序列将由控制器解码后恢复为原来的状态,再由 I/O 端口输入到主机或网络服务器,供用户使用。高效合理的读写通道设计不仅可以提高存储密度,而且能有效提高数据的传输速率。

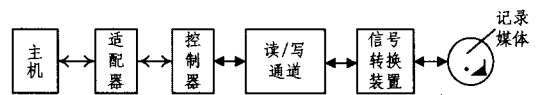


图 1 数据通道

在通道设计中,随着记录密度的不断提高,传统的纵向记录介质面临诸多挑战。首先,密度越高,记录波长越短,记录位的退磁场越强,从而导致记录信号的不稳定。为了提高记录密度,并保证高密度信息的可靠性,传统的方法是通过提高介质的矫顽力 H_c 、减薄磁层厚度 t (降低 Mrt) 等手段来降低退磁场;其次,在目前高密度高、速率传输的条件下,采样时钟的精度和稳定度成了通道采样的瓶颈,因此需对现有的采样模型进行改进。

伺服系统时钟恢复主要由 ADC 转换器构成的采样电路以及伺服时钟恢复电路组成。在伺服系统中,为了计算出伺

^{*} 国家自然科学基金(60303031)和国家“973”重点基础研究发展计划(2004CB318203)资助。吴非 讲师,博士,主要从事网络存储、信号处理、无线网络技术的研究。

服位置误差信号(PES),需对伺服 burst 信号进行高精度采样并通过 FFT 计算。但从文献中可以看到,目前大多数公司为了降低成本,如 Marvell 公司带硬盘控制器芯片 88i6310 读写通道伺服系统都采用 6bit ADC 转换器,并且伺服系统和数据信号共用采样电路。由于采样时会产生量化噪声干扰,对伺服 burst 信号来说 6bit 分辨率的 ADC 转换器显然是不够的,经过 FFT 计算后 burst 信号会产生较大的误差。因此,研究新的伺服系统采样模型,并对伺服 burst 信号 FFT 算法进行有效改进,可高效解决此问题。

2 通道伺服 burst 信号过采样模型

过采样基于如下假设:一个 ADC 的总量化噪声功率(方差)为转换器最小有效位(LSB)电压的平方除以 12,即总量化噪声功率 $\sigma^2 = (\text{LSB value})^2 / 12$ 。过采样同样假设量化噪声值是真实随机的,这意味着在频率范围内,量化噪声有一个平滑的频谱(如果 ADC 是由一个覆盖转换器模拟输入电压范围重要部分的模拟信号驱动且周期性不明显,该假设有效)。采用此方案的如 Marvell 公司的 88i6310,通过数据通道的 ADC 转换器去采样并量化 burst 信号,数字化的 burst 信号通过 adder 累加器进行累加并作为位置误差信号存到寄存器中。Burst 信号的位置误差信号的分辨率取决于采样的量化差,量化误差的平均值为:

$$E_{\text{ave}} = \frac{\sum ek}{n} \quad (1)$$

式中 n 是采样的点数, ek 是每个 burst 信号的量化误差。当对 burst 信号的采样时钟是异步时,每个采样点的量化误差被均匀分布在 -0.3LSB 到 $+0.3\text{LSB}$ 之间。相对于每个采样的量化误差,通过对 burst 信号异步采样可以减小平均的量化误差^[1,3-5]。

平均量化误差随着 burst 信号的幅度和采样时间的变化而变化。有效的量化误差需要考虑这些变化。有效的分辨率计算公式为:

$$y = x - \log_2 EQ \quad (2)$$

式中 EQ 是平均量化误差变化的范围, x 是 ADC 转换器的 bit 位数。

为了获得有效的量化误差,考虑到 burst 信号的幅度和采样相位可以通过仿真来计算。表 1 为仿真条件。图 2 为 burst 信号采样时平均的量化误差。有效的分辨率通过式(2)计算得知。

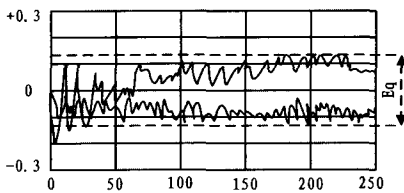


图 2 平均量化误差变化范围

表 1 仿真条件

ADC	6bit, 250[mV _{opd}] full range
burst 信号	正弦波
burst 信号图	3T pattern(100100...)
采样相位	0~2π
信号幅度	25~250[mV _{opd}]

3 伺服 burst 信号过采样存在的问题

增加采样数可以使量化误差均匀分布并能减小平均量化

误差的范围。图 3 显示采样数与分辨率的关系。可以看出,尽管采样数继续增加,但有效的分辨率在 7.5bit 位置饱和。

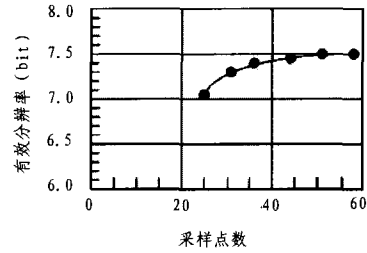


图 3 采样频率与有效分辨率仿真

4 改进型通道伺服 burst 信号过采样模型

图 4 为改进型伺服 burst 信号采样的原理框图。对比传统的方案,新方案做了如下改进:

1)在模拟滤波器和 ADC 转换器之间增加一级波形整流器。在对 burst 信号采样前,让 burst 信号经过整流器整流从 $[-V, +V]$ 变成 $[0, +V]$,而数据信号和伺服信号不经过波形整流器。信号的切换通过识别检测伺服地址标志来实现。那么当 burst 信号采样时,ADC 转换器的动态范围减少了一半,这意味着相比其它的信号, burst 信号改善了 1bit。

2)burst 信号的采样时间减少一半,这也减少了采样相位的变化,量化误差的范围也相应减小。

在新的采样电路中,压控振荡器的输出连接了一个分频器。当采样 burst 信号时,时钟直接使用压控振荡器;采样其它信号时,通过分频器分频后接到 ADC 转换器。

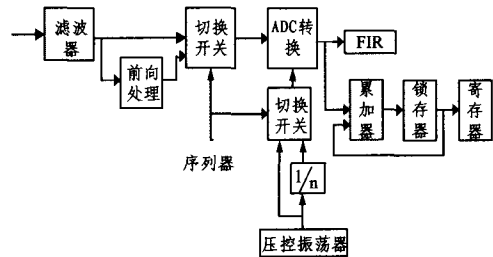


图 4 改进过采样方式框图

图 5 所示为新的采样电路信号采样过程。当 ADC 转换器采样 burst 信号时,对比其它信号码采样动态范围减小了一半,而采样频率提高了一倍,因此 burst 信号的分辨率和采样点相比信号提高了一倍。

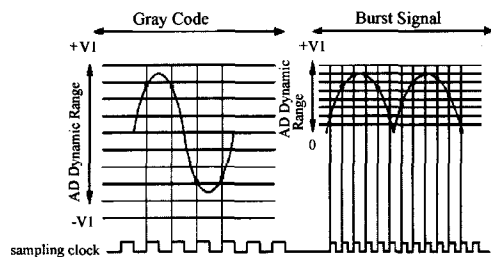


图 5 伺服位置误差信号采样与其它信号采样的对比

5 改进型通道伺服 burst 信号采样仿真分析

图 6 为采样 burst 信号的量化误差的结果。Burst 信号
(下转第 103 页)

性、使用简易程度、性能等几个方面把 TEDFSU 和其他加密文件系统进行比较,结果见图 2。

内容	CFS	TCFS	CryptFS	AFS	TEDFSU
工作原理	NFS 服务器	NFS 客户机	虚拟节点	普通文件系统	虚拟节点
实现位置	应用层	内核层	内核层	内核层	内核层
数据存储	密文	密文	密文	明文	密文
密钥存放	磁盘	磁盘	磁盘	磁盘	Usbkey
扩展性	较差	较差	较好	较差	较好
使用简易	较复杂	较复杂	较复杂	较复杂	容易
性能评测	较差	较好	较好	较差	较好

图 2 TEDFSU 和其他加密文件的比较

工作原理:CFS 和 TCFS 基于 NFS 文件系统,CryptFs 是基于虚拟节点的工作机制,AFS 基于普通的文件系统的工作机制;TEDFSU 从本质上来讲也是基于虚拟节点的,因为 i-node 就是虚拟节点的中重要的一种。

实现位置:通常,在核心层进行加密操作将会得到更高的性能。

数据存储:数据在磁盘中以密文的方式存储比采用明文方式存储显然具有更高的安全性。

密钥存放:和把密钥存放在磁盘上相比,TEDFSU 把密钥存放在 UsbKey 中,具有较高的安全性能。

扩展性:由于 TEDFSU 对内核的依赖性较小,因此便于扩展;由于采用结构化的设计和编程,能够对多种加密算法提供支持。

使用简易:TEDFSU 由于实现了图形化的配管工具,使用简单灵活。

性能评测:CFS 在应用层加密使得在对本地数据进行加密时性能非常低。相比之下,CryptFS 和 TEDFSU 则高效得多。此外,TEDFSU 由于采用硬件加密,和其他采用软算法加密的系统相比,具有更高的性能。

结束语 本文设计和实现了一个基于 UsbKey 的透明文件加密解密系统,并且从设计目标、系统组成和 workflows 以及实

现 3 个方面对其进行了讨论,最后把它和其他加密文件系统做了比较。和传统的加密文件系统相比,TEDFSU 的密钥和加密算法安全存储在 UsbKey 中,只有合法的用户拥有 UsbKey 并且输入合法的口令后,才能够登录系统。并通过实现一个图形管理界面解决了常见加密文件系统易用性较差的问题。此外,在系统中文件以密文的方式存储在磁盘中,只有合法的用户查看文件内容是明文,并没有感觉到加密机制的存在,而非合法的用户得到的却是密文,实现了透明加解密的功能。

该系统经过测试证明已经能够很好地支持 Linux 文件系统 ext2 和 ext3。下一步工作之一是 Windows 的 NTFS 和 VFAT 等文件系统移植的工作。此外,由于该系统采用 LSM 机制和结构化设计,扩展性和灵活性较好,因此我们还将研究如何把对于文件强制访问控制机制融入到该系统中,从而对系统安全提供更高级别的保证。

参考文献

- [1] Blaze M. A Cryptographic File System for Unix [C] // First ACM Conference on Communication and Computing Security. Fairfax, VA, 1993: 158-165
- [2] Cattaneo G, Catuogno L, Del Sorbo A, et al. The Design and Implementation of a Transparent Cryptographic Filesystem for UNIX // Proceedings of the Annual USENIX Technical Conference, FREENIX Track. June 2001: 245-252
- [3] Zadok E, Badulescu I, Shender A. Cryptfs: A Stackable Vnede Level Encryption File System. 1998
- [4] Howard J H. An Overview of the Andrew File System [C] // Proceedings of the USENIX Winter Technical Conference. Dallas, TX, 1988(2)
- [5] Stevens W R. Unix 环境高级编程. 尤晋元,等译. 机械工业出版社, 2004
- [6] 毛德操,胡系明. Linux 内核源代码情景分析. 浙江大学出版社, 2002

(上接第 55 页)

的幅度是 25mV 到 250mV,采样相位是 $0 \sim 2\pi$ 。传统采样方案的采样数是 64,新的采样方案的采样数是 128。新的采样方案的平均量化误差是 0.14LSB,传统采样方案的量化误差是 0.38LSB。依据式(2)可以计算出新的采样方案的 ADC 转换器的分辨率达到 8.8bit。

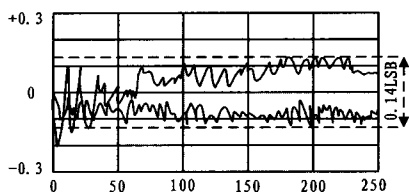


图 6 新的采样方案量化误差范围

结束语 本文针对采样时会产生量化噪声干扰,对伺服 burst 信号来说 6 位分辨率的 ADC 转换器显然是不够的,而经过 FFT 计算后 burst 信号会产生较大的误差这一问题,首先依据采样量化误差模型分析了现有的伺服系统过采样模型,并提出了改进型的伺服系统过采样模型。通过仿真得知,改进型采样方案将平均量化误差由原来的 0.38LSB 降到了

0.14LSB, ADC 转换器的分辨率由原来的 7.5bit 提高到 8.8bit,说明该种改进方案是行之有效的。

参考文献

- [1] Bliss W G, Du L, Karasambhai M. Digital servo demodulation in a digital read channel. IEEE Transactions on Magnetics, 1998, 34(1): 90-100
- [2] Abramovitch D Y. Customizable coherent servo demodulation for disk drives. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1998, 3(3): 184-193
- [3] 王念旭,等. DSP 基础与应用系统设计. 北京:北京航空航天大学出版社
- [4] Thapar H, Lee Sang-Soo, Conroy C, et al. Hard Disk Drive Read Channels; Technology and Trends // IEEE Solid States Circuits Society. Proceedings of the IEEE Custom Integrated Circuits Conference. San Diego: Institute of Electronics Engineers, Inc., 1999: 309-316
- [5] Grochowski R, Hoyt R F. Future trends in hard disk drives. IEEE Transactions on Magnetics, 1996, 32(3): 1850-1854