

基于柔性测试技术的高精度水下声学采集与发射系统设计

杨艳明, 李鹏, 曹磊, 相朋举

(北京中科泛华测控技术有限公司, 北京 100083)

摘要: 水下声学采集与发射在水声测试系统中起着举足轻重的作用, 以往的测试设备往往只针对水下水声信号的原始数据采集, 而在岸基与水下系统的授时、定时以及同步性上缺乏可靠的技术手段予以保证, 同时也存在测试功能针对性强、扩展性差等缺点; 文章提出了基于柔性测试的高精度水下声学采集与发射技术, 阐述了其基本的测试原理、关键技术实现以及软硬件实现方法, 完成了岸基与水下测试系统授时误差小于 200 ns, 定时同步误差小于 100 ns, 最大 6 通道, 每通道采样不小于 200 KS/s 的水听器采集且同步 2 通道换能器任意波形输出的硬件功能, 软件上实现了任务列表自动解析、基于岸基时间服务器的自动数据采集与发射功能, 具有精度高、功能全面、智能化程序高等特点。

关键词: 水下声学测试; 柔性测试技术; 高精度

Design and Implementation of High Precision Acquisition and Launching Underwater System Based on Flexible Technology

Yang Yanming, Li Peng, Cao Lei, Xiang Pengju

(Beijing Zhong Ke Fan Hua Measurement & Control Technology Co., Ltd. (Pansino Ltd.), Beijing 100083, China)

Abstract: The data acquisition and launching has been important in underwater system. The traditional test system has some disadvantages of high pertinence, bad compatibility and too much working load. A high precision system is promoted based on flexible testing technology. Its testing scheme and measurement is introduced including the core technology in hardware and software. The timing service bias is less than 200 ns and timing Synchronization bias is less than 100 ns between the shore and underwater systems. Six channels (more than 200 KS/s sampling rate) have been achieved, which are also Synchronous with two channels of launching data. This testing system has the advantages of high precision, extensibility and intelligence based on task resolved and executed automatically.

Key words: underwater acoustics testing; flexible testing technology; high precision

0 引言

水声测试系统由发射换能器、水听器、发射与采集系统、接口系统等几部分组成^[1]。以往的测试设备通常只关注于发射与采集系统功能本身, 而忽视了岸基与水下测试系统的时间同步性, 同时对于“发射”与“采集”而言, 二者的时钟同步也是需要精确测量的, 以保证后续数据分析处理的精确性与有效性。

柔性测试技术是以测试测量系统的整体功能及性能为关注对象, 以虚拟仪器技术为核心, 对满足测试测量系统需求的方法和手段进行研究及开发的技术。为此, 本文提出了一种基于柔性测试的高精度水下声学采集与发射技术, 可以弥补以往水下声学测试设备的不足, 使得测试仪器拥有精度高、功能全面、智能化程度高的特点。

1 系统方案设计

基于柔性测试技术的高精度水下声学采集与发射系统整体方案设计如图 1 所示。

整个测试系统的核心是基于 PXI 总线的采集与发射平台, 同时岸基上放置连接有 GPS 天线的服务器、路由器以及

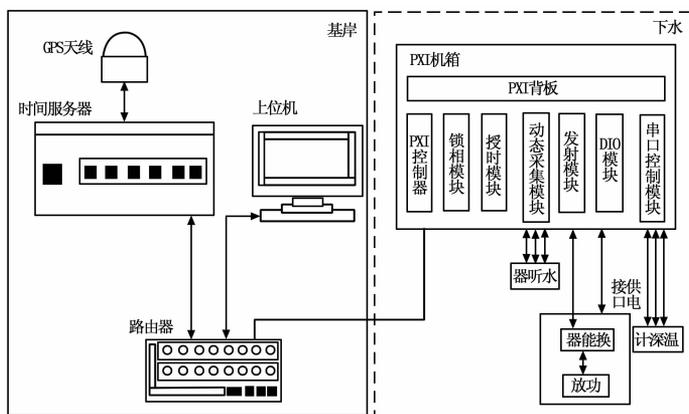


图 1 系统整体方案设计原理

上位机等。时间服务器通过 GPS 天线获取标准时间, 通过路由器由 NTP^[2] 和 PTP^[3] 协议完成对上位机、下位机(水下 PXI 采集发射平台)授时, 同时上位机经过路由器由 TCP/IP 协议完成与水下下位机的数据及指令交互。

2 水下采集与发射平台

2.1 采集与发射平台组成与功能

水下采集与发射平台基于 PXI 总线, 由 PXI 机箱(带背板)、控制器、1 块动态信号采集卡、动态信号发射卡、1 块数

收稿日期: 2014 - 02 - 18; 修回日期: 2014 - 03 - 28。

作者简介: 杨艳明(1984 -), 男, 硕士, 应用工程师, 主要从事测试测量技术方向的研究。

字 IO 模块和 1 块串口控制模块组成。PXI 各个模块与控制器通过 PXI 总线背板连接, 所有数据交互均通过 PXI 总线传输, 同时 PXI 背板提供与各模块之间的时钟同步。

在水下采集与发射平台中, 控制器用来运行 Real-Time 实时操作系统, 在该操作系统下, 系统的线程执行周期可以控制在 μs 级, 以实现下位机各模块更好地实时性交互。图 1 中标识的动态信号采集模块、用来完成水下多个水听器数据采集, 为了获取更宽频带的测试数据, 设计时每个通道的采样率为 200 KS/s, 板卡 AD 为 24 位。图 1 中的发射模块拥有 24 位 DA, 2 个发射通道, 每通道数据刷新率设置为 20 KS/s (设计为 200 KS/s), 用来连接到换能器以及功放, 实现特定数据波形的发射。DIO 模块用来控制换能器以及功放的供断电操作。串口控制模块用来连接多种传感器测试水下系统周围环境参数, 如温度、深度等。图 1 中授时模块用来实现岸基时间服务器对下位机系统的授时, 使得上下位机保持时间同步; 而锁相模块用来将 PXI 系统所有时钟进行锁相调整, 保证下位机采集与发射平台各模块工作时钟相位精确同步。

2.2 岸基与水下测试平台的时间同步

为了实现整个水声测试系统的时间同步, 在岸基上使用时间服务器对上下位机授时。其中对下位机授时基于 PTP 技术, 将标准 GPS 时间通过 1588 协议连接到水下 PXI 测试平台的授时模块上, 该模块获取 GPS 时间后在 Real-Time 系统上完成对 PXI 控制器系统时间的授时, 同时完成下位机运行过程中的长期守时; 另外对上位机授时基于 NTP 技术, 实现 Windows 操作系统的 ms 级授时, 使得整个水声测试系统的运行时间都基于 GPS 时间服务器, 实现岸基上位机与水下采集发射平台的时间同步。

2.3 水下采集与发射平台的时钟同步

水下采集与发射平台的时钟同步作为整个系统的实现难点, 需要依赖 PXI 锁相模块、授时模块、背板时钟路由以及 PXI 触发总线技术。

授时模块通过 1588 协议获取岸基时间服务器的标准时间, 完成授时功能。而水下采集发射平台的各 PXI 模块 (除锁相和授时模块) 均自带板载时钟, 为了实现各模块采样时钟的同步, 采用了 PXI 背板同步总线技术, 将背板 10 MHz 时钟路由到各个模块, 从而实现水听器采集模块、换能器输出模块、DIO 供断电模块、串口控制模块等均使用同一个采样时钟, 即背板 10 MHz 时钟, 因此水下采集与发射平台时钟统一的问题就集中在授时模块与背板 10 MHz 时钟的同步性上。

为了解决授时模块替换背板 10 MHz 时钟相位漂移的问题, 进一步提高时钟同步精度, 采用了 PXI 锁相模块来约束调整二者时钟之间的相位关系, 即锁相环技术——PLL。其实现原理如图 2 所示。

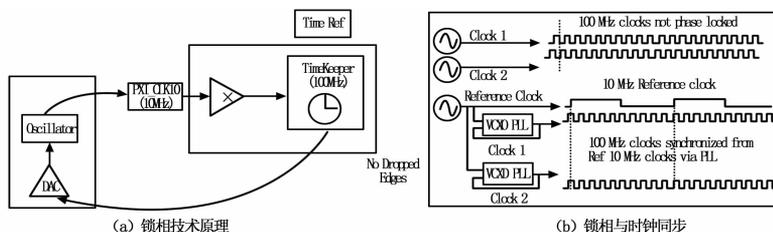


图 2 锁相模块锁相环技术实现

从图 2 中可以看出, 通过使用锁相模块更高精度的晶振以

及锁相环技术, 可以将授时模块板载时钟与 PXI 背板 10 MHz 时钟进行反馈调整, 完成“锁相”, 二者在时钟沿上实现了 ns 级同步, 从而完成下位机 PXI 采集与发射全系统的时钟路由与同步, 整个水下系统全部统一到同一个时钟。

另外, 为了实现水下测试系统“采集”与“发射”的动作同步, 采用了 PXI 触发总线技术。根据采集与发射任务序列, 使用授时模块输出基于 1588 协议时间的触发沿, 水听器采集模块与发射模块同时接收该触发信号, 完成相应动作, 从而实现基于统一时钟的同步采集与发射功能。

3 软件设计

3.1 软件设计框架

系统软件开发平台选择 labVIEW, 在 Windows 和 Real-Time 实时操作系统下能够基于 PXI 总线的各硬件模块无缝连接, 软件设计人员不需要对 PXI 各模块的驱动有深入了解, 如锁相和授时底层代码以及时钟路由等硬件设计, 在开发过程中利用 labVIEW 提供的 API 即可进行程序开发, 极大地提高了系统软件开发效率^[4]。水下声学采集与发射软件框架设计如图 3 所示。

考虑水下声学测试系统的通用性, 除了硬件上采用了基于模块化设计的 PXI 总线平台之外, 软件设计时同样依据模块化、序列性测试设计原则进行软件功能划分, 如 1588 协议授时线程, 锁相监控线程, 时间序列解析线程, 水听器触发采集线程, 换能器同步触发发射线程, 水下环境监测线程, 数据保存、TCP 传输线程, 系统状态参数监控线程等。每个线程相对独立, 采用 FIFO 技术缓冲和传输数据, 确保多路水听器采集数据与换能器发射数据无丢失且同步。

3.2 发射任务序列自适应解析设计

为了实现水下声学采集与发射系统的任务自动启动与结束功能, 设计了多任务交叉序列自适应解析的机制, 如某一个任务序列为

01 20120105100000 20120115100000 20 5 zf3k. bin

01 表示第 1 个任务, 开始时间为 2012 年 1 月 5 日 10: 00: 00, 结束时间为 2012 年 1 月 15 日 10: 00: 00, 20 表示每次任务的间隔为 20 min, 5 表示每次 20 min 间隔内需要通过换能器连续发射名为 zf3k. bin 的文件 5 次且同步水听器采集, 点数连续不间断。为了避免两个或者多个发射任务时间序列交叉情况下系统利用率低的问题, 在软件设计了多任务交叉序列自适应解析机制: 可以定义多个大任务且任意组合; 可以对发射子任务进行优先级设定; 子任务可在任意时刻中断, 并继续执行; 形成的子任务数据文件较小, 便于数据传输和分析。

3.3 Real-Time 操作系统下数据缓冲关键技术

根据 3.2 所述, 由于发射的子任务需要定时反复多次发射, 并且要求相邻两次发射之间数据无间断, 同时为了避免同一个数据文件读取多次, 降低 Real-Time 操作系统下内存、CPU 使用率以及硬件操作, 设计了 PingPangFIFO^[5] 数据缓冲机制, 其实现原理如图 4 所示。

每个文件数据读入到 LaunchingFIFO 中后, 其镜像的 BufferingFIFO 也会备份同样的数据, 由此两个 FIFO 通过 PingPang 缓冲的机制, 循环对外输出一份完整的文件数据到硬件发射板卡上 DA, 进行换

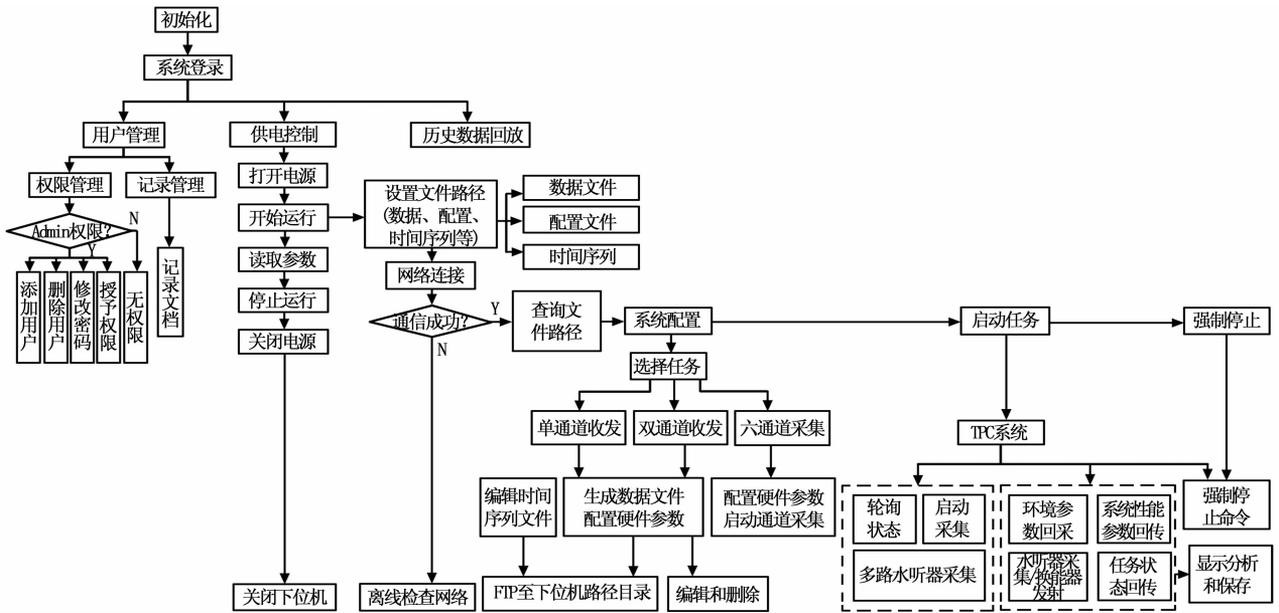


图 3 系统软件开发框架设计

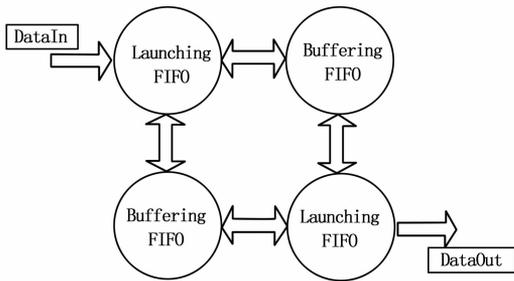


图 4 PingPangFIFO 数据缓存技术原理

能器数据发射，实现了同一个数据文件定时循环多次发射，而不必反复执行文件 IO 的操作，有效提高了系统的可靠性，延长了硬盘使用寿命，降低了 CPU 使用率。

该技术优势在于每个发射文件只需要读取一次即可；只要内存允许，可以完成上百兆数据大小的发射；避免反复进行硬件配置操作；保证了多次反复发射之间数据和时间上的严格连续。

3.4 系统容错处理与故障恢复

考虑到基于 Real-Time 操作系统的水听器采集与换能器发射置于水下，因此设计了系统容错处理与故障恢复机制。根据系统报错类型的不同，设定对应的容错等级。

另外在水下采集与发射系统软件关键线程上添加看门狗，用来监控核心线程实时情况，在必要时启动看门狗以重新板卡和系统，恢复初始状态，从而在不影响系统功能情况下根据系统时间自动加载新的任务，使得操作人员不必实时监控与维护系统，提高了设备智能化程度。

4 实验结果与分析

水下声学采集与发射系统实现了自动测试，岸基与水下系

统授时误差小于 200 ns，触发同步误差小于 100 ns，最大 6 路水听器测试，每通道采样率 200 KS/s，最大 2 路任意波形换能器输出，刷新率不低于 20 KS/s（最大可设置 200 KS/s），在 2 G 内存下系统单任务换能器发射数据文件可达 200 MByte，且系统自动启动各项子任务，无需人为干预，直到所有发射任务完成为止。经过实际测试，授时误差与同步误差均在 100 ~ 200 ns 之间。并完成了基于时间与时钟同步的定时数据发射。

5 结论

综上所述，本文提出的基于柔性测试的高精度水下采集与发射系统采用岸基服务器与授时模块的同步技术以及 PXI 模块锁相技术，完成了 200 ns 以下的时间与时钟同步精度，实现了自定义多任务序列的自动测试；通过采用 PingPang-FIFO 数据缓冲技术，实现了大数据文件的不间断循环发射，提高了系统使用效率，同时降低了内存与 CPU 的消耗；设置系统容错与故障恢复，保证了水下采集与发射系统长期运行的稳定性，提高了整个系统的可靠性，且易于操作及扩展。目前水下采集与发射测试设备已投入实际使用中，运行良好。

参考文献：

- [1] 黄晓燕. 基于虚拟仪器的水声自动测试系统的研究与应用 [D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [2] 黄沛芳. 基于 NTP 的高精度时钟同步系统实现 [J]. 电子技术应用, 2009, (7): 122-123.
- [3] 宋波. 一种基于 PTP 协议的局域网高精度时钟同步方法 [J]. 自动化技术与应用, 2010, (1): 67-68.
- [4] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW 8. 20 程序设计从入门到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [5] 高宏亮. 基于 PCI 接口的乒乓切换数据采集技术的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2012, (11): 3101-3102.