

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.09.019

# LXI 总线仪器接口设计方法

同江<sup>1</sup>, 蔡远文<sup>2</sup>

(1. 装备指挥技术学院 研究生院, 北京 101416; 2. 装备指挥技术学院 航天装备系, 北京 101416)

**摘要:** 在对 LXI 总线仪器接口设计方法进行研究的基础上, 提出 2 种 B 类 LXI 仪器接口实现方案。对接口功能及其实现要求进行分析, 对 2 种方案进行对比、分析, 总结出其共同点和不同点, 然后对 LXI 仪器的驱动程序接口进行阐述。目前, LAN 接口已在仪器中得到了广泛应用。

**关键词:** LXI 总线; 接口设计; IVI; IEEE1588

**中图分类号:** TP206; TP393.06 **文献标识码:** A

## Method of Interface Design for LXI Bus Instruments

Tong Jiang<sup>1</sup>, Cai Yuanwen<sup>2</sup>

(1. Brigade of Graduate, Institute of Command & Technology of Equipment, Beijing 101416, China;

2. Dept. of Aerospace Equipment, Institute of Command & Technology of Equipment, Beijing 101416, China)

**Abstract:** On the basis of studying the method of interface design for LXI bus instruments, put forward two kinds of design projects of LXI class-B instruments interface. Analyzing to interface function and implement requests, comparing with two projects, the common ground and differentia of the two projects are summarized. At last, driver interface of LXI instruments is expounded. Recently, the LAN interface is used abroad in instruments.

**Keywords:** LXI bus; interface design; IVI; IEEE1588

### 0 引言

组建网络化测试系统, 提高测试效率、共享信息资源, 是现代测试系统发展的方向。LXI 总线技术的出现, 使得组建一套网络化远程测试系统变得更加简单、便捷, 该仪器强大的功能技术指标和优越的测试性能获得了测试行业的高度关注。LXI 仪器的接口主要包括硬件接口、驱动程序接口和 Web 接口 3 部分, 分为 A、B、C 三类<sup>[1]</sup>: C 类仪器具有一个标准的 LAN 接口和 Web 浏览器接口, 这些仪器不需要支持硬件触发和 IEEE1588 触发; B 类仪器包括 C 类仪器的所有功能特征, 还支持 IEEE1588 精确时钟同步; A 类仪器除包括 B 类和 C 类的全部功能外, 还增加了一种硬件触发功能。接口设计是 LXI 仪器的关键技术之一, 故对其进行研究。

### 1 LXI 仪器接口功能及其实现要求

由 LXI 的物理规范可知, LXI 总线仪器必须具有 LAN 接口, 该接口必须符合 IEEE802.3 协议。LXI 仪器接口实现的软件框架如图 1。要研究 LXI 仪器接口的设计方法, 首先就必须得弄清楚 LXI 仪器接口所具有的功能。LXI 总线仪器接口的功能主要包括 2 个方面<sup>[2-3]</sup>: 网络传输和基于网络的仪器控制 (本地和远程)。

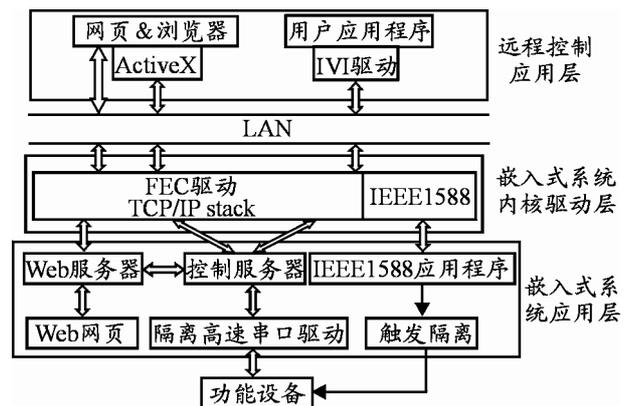


图 1 LXI 仪器接口实现的软件框架

#### 1.1 网络传输功能及其实现要求

网络传输是 2 台计算机之间或计算机与仪器之间经过网络进行的数据通信。国际标准化组织提出的开放系统互连 (OSI) 参考模型将网络从最基础的物理硬件到最终的用户程序分为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层 7 层。其中, 前 4 层用于处理数据传输, 物理层和数据链路层上的信息执行是在硬件和软件上进行的; 后 3 层用于处理应用信息, 只在软件上执行。根据 OSI 参考模型, 要实现数据高速、准确的网络传输, 就必须对物理层、数据链路层、网络层和传输层进行准确的设计。同时, 根据 LXI 标准对其仪

收稿日期: 2010-04-02; 修回日期: 2010-05-05

作者简介: 同江 (1984-), 男, 陕西人, 博士研究生, 从事航天测试发射控制理论与技术研究。

器 LAN 接口的要求, 必须对于网络速度也应有所选择。故可采用成熟的嵌入式网络系统来实现 LXI 总线仪器接口的网络传输功能。

结合 LXI 的规范标准, 实现网络传输的具体要求如下:

1) 网络底层协议: 至少使用 TCP/IP 协议 IPv4 版, 支持 IP (Internet 协议)、TCP (传输控制协议) 和 UDP;

2) 应用层提供 ICMP (Internet Control Messages Protocol) 服务、客户端和 Web 服务等;

3) 推荐使用千兆网 (也允许使用 100M/10M 网), LXI 使用自动握手, 因此网络上的装置默认一个公共速度, 装置必须实现 AUTO-MDIX (自动感知 LAN 电缆极性);

4) 固件和软件可通过 Web 网页进行查询和更新。

在市场现有的硬件中, 有很多种嵌入式硬件和网络硬件都可以满足上述接口功能。LAN 和 USB 是应用范围很广泛的通讯接口, 比较好的微程序控制单元 (Microprogramm-ed Control Unit, MCU) 会同时把它们集成外围器件, 因此, 网络传输功能的实现就是选择合适支持 LAN 和 USB 接口的嵌入式硬件, 构造具有网络功能的嵌入式系统。

嵌入式系统构建好之后, 操作系统本身就可以支持各种所需的网络协议。在此基础上就可以实现网络传输功能。

## 1.2 基于网络的仪器控制功能及其实现要求

要实现对于 LXI 总线仪器的控制, 首先必须对仪器所在的网络进行配置, LXI 的 LAN 配置是指设备为获得 IP 地址、子网掩码、默认网关和 DNS (Domain Name System) 服务器 IP 地址等配置值所使用的机制。LXI 设备 LAN 配置的方法有 3 种: 动态主机配置协议 (Dynamic Host Configuration Protocol, DHCP)、动态配置本地链路选址 (Dynamic Link-Local Addressing, 又称为 Auto-IP) 和手动设置。其中, DHCP 是在使用以太网路由器的大型网络中自动分配 IP 地址的方法, 此时通过 DHCP 服务器获得设备的 IP 地址; Auto-IP 方式适用于由以太网交换机 (或集线器) 组建的小型网络或特设网络, 以及由交叉电缆组建的两节点网络; 手动方式可用于所有类型拓扑结构的网络, 此时用户手动设置 LXI 设备的 IP 地址。如果模块支持多种配置方式, 则按照 DHCP、动态配置本地链路选址和手动

设置的顺序进行 LAN 配置。

仪器控制功能的实现主要包括 2 个方面:

1) 网页中的虚拟仪器控制面板。合理设计虚拟仪器面板会给仪器的控制带来很大的方便; 根据测试系统的功能需求, 利用 LabVIEW 开发平台开发出一套虚拟仪器, 用户通过虚拟仪器控制面板就可以对仪器进行本地和远程控制。

2) 用户定制的应用程序通过 IVI 驱动程序来进行控制。

网络配置都是自动完成的, 但当测试系统中存在多台相同型号的设备, 且 DHCP 服务器或者 Auto-IP 功能关闭时, 必须使用手动来配置网络。手动网络配置功能通过网页浏览器中 Web 页的控件来实现, 更新的数据被网页浏览器发送到 Web Server 中, 由 Web Server 解析接收到的数据, 并采用新的设置重新配置网络。Web Server 还负责将当前的网络配置状况根据网页模板生成新的网页, 并发送给远程浏览器。

## 2 B 类 LXI 仪器接口设计方案

B 类 LXI 仪器除了具有 LAN 接口外, 还要有 IEEE1588 精确时钟同步功能, IEEE1588 时钟同步功能可以通过硬件和软件 2 种方式实现。针对 B 类 LXI 仪器的接口, 提出 2 种设计方案:

### 1) 纯软件嵌入式实现方案

该方案采用已经发展成熟的嵌入式系统来实现, 用软件编程的方法实现 IEEE1588 精确时钟协议的功能。方案的结构设计如图 2。

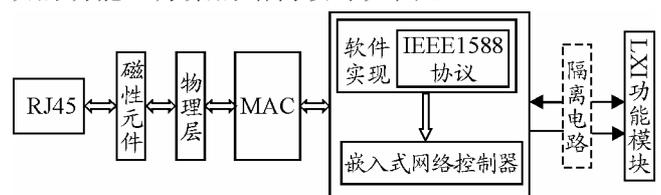


图 2 纯软件嵌入式实现方案

### 2) 硬件芯片嵌入式实现方案

该方案同样采用发展成熟的嵌入式系统, 使用软件辅助硬件芯片实现 IEEE1588 协议。方案的结构设计如图 3。

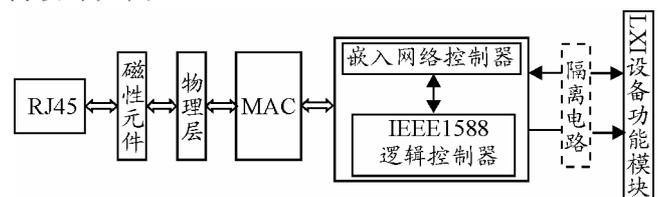


图 3 硬件芯片嵌入式实现方案

(1) 2 种方案的共同点: 2 种方案都能满足 LXI

标准中对 LAN 接口的规定和指标要求，完全具备 IEEE1588 精确时钟同步的能力。

(2) 2 种方案的不同点：方案 1 使用纯软件编程来实现 IEEE1588 协议。根据影响 PTP 精度因素的分析，可以知道软件实现分为 2 种情况，分别为在应用层实现和在底层驱动程序中实现。在应用层实现将产生 ms 级的误差；在底层驱动程序中实现时，由于 IEEE1588 协议采用 UDP 协议传输时间信息，所以修改 UDP 协议内核驱动程序，增加 IEEE1588 协议处理内容，在应用层的配合下实现 PTP 功能。该方案可以将误差减小到 μs 级，采用 RTOS 和高性能 MCU，可以做到亚微秒级。方案 2 采用硬件 IEEE1588 逻辑控制器芯片，在物理层实现时间戳处理，可以达到 ns 级的精度。

因此，方案 2 的精度要远高于方案 1。所以，在条件允许的情况下，一般会选择硬件芯片嵌入式方案来实现 B 类接口。

### 3 IVI 驱动程序接口设计

LXI 测试模块使用 IVI-COM 驱动程序对仪器进行控制。IVI 驱动程序是基于 VISA 并被集成在 NI 提供的开发环境中。主控程序通过调用 VISA I/O 库函数，控制 LXI 模块完成电压、电流、频率等信号的测试采样。

LXISync 规范定义了 A 类和 B 类仪器驱动程序编程接口的具体要求，这些 API 用来控制 LXI 设备等待、触发和事件功能特性（这些功能特性是关于 A 类和 B 类 LXI 设备的，不依赖于任何 IVI 仪器类），分为等待、触发、事件、事件日志及时间 5 个子系统。其中，等待子系统控制触发信号什么时候被接收；触发子系统控制 LXI 设备何时触发一次测量或其他操作；事件子系统控制 LXI 设备何时把特定状态发送给其他 LXI 设备；事件日志子系统提供一种访问设备日志的方法；时间子系统提供访问 LXI 总线 IEEE1588 时基的功能。

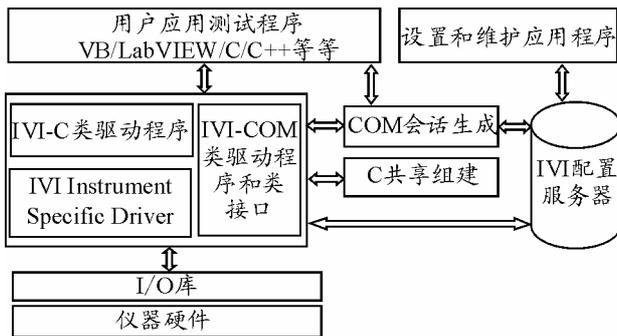


图 4 IVI 体系结构

IVI 驱动程序的特点在于为那些需要可互换性、状态缓存或仪器仿真的更为复杂的测试应用提高了性能和灵活性。IVI 通过类驱动程序和 IVI 配置库实现应用程序与驱动程序的无关性。它基于 VISA 并被集成在 NI 提供的应用程序开发环境中。IVI 的体系结构如图 4。

IVI 根据仪器的功能将仪器分成类，比如数字万用表类、示波器类、函数发生器类等，仪器驱动器被分成了 2 层，下面一层是某一具体仪器所特有的驱动器（IVI Instrument Specific Driver），提供一个一致的编程接口和一些能够提高仪器性能的软件，如仪器仿真、范围检测、状态暂存等；上面一层是 IVI 类驱动器（IVI Class Driver），对每个仪器类定义了统一标准的仪器编程接口，这个接口与具体的仪器无关，IVI 就是在这一层实现相同功能不同型号仪器之间互换，测试程序调用该层，然后该层再去调用特定的与具体仪器相关的驱动来控制仪器和实现测量<sup>[4]</sup>。

以 Agilent 34980A 为对象，给出功能测试模块的 IVI 驱动程序编写范例，部分程序代码如下：

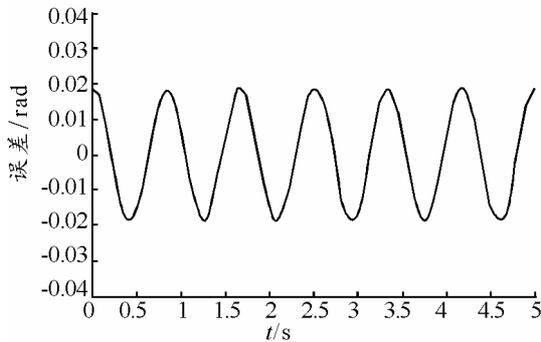
```

Dim index As Integer;
Dim rdgArray(80) As Double;
EFT Mode(Close/Measure/Open);
//功能测试模块
myAgilent34980A.Scan.ScanList = "1001:1020";
//扫描列表赋值
myAgilent34980A.Voltage.DC Voltage.
Configure ("1001:1020", 10.0,
Agilent.Agilent34980A.Interop.Agilent34980A
Resolution Enum.Agilent34980A Resolution Least);
//直流电压配置
myAgilent34980A.Voltage.DC Voltage. Auto
Zero ("1001:1020");
Agilent.Agilent34980A.Interop.Agilent34980A
Auto Zero Enum.Agilent34980A Auto Zero ONCE;
myAgilent34980A.Display.Display Enabled =
False; //显示器使能键关闭
myAgilent34980A.Trigger.Configure(Agilent.Ag
ilent34980A.Interop.Agilent 34980A Trigger Source
Enum.Agilent34980A Trigger Source Immediate, 1, 0,
1); //触发配置
For index = 1 To numChannels;
myAgilent34980A.Route.Close("1001");
//“1001”通道关闭
myAgilent34980A.Measurement.Initiate();
//测量初始化
  
```

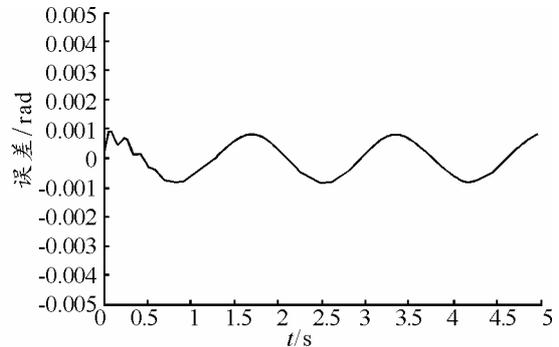
(下转第 78 页)

响应快、稳态误差小，性能远优于常规 PID 控制。

图 6 为常规 PID 控制器和模糊神经网络 PID 控制器对正弦信号跟踪的误差响应曲线，通过对比可



(a) PID 控制



(b) 糊神经网络 PID 控制

图 6 系统正弦误差响应曲线

### 4 结束语

仿真结果表明，模糊神经网络 PID 控制器能缩短调节时间，加快响应速度，提高稳定精度，具有良好的鲁棒性，能满足非线性系统的要求，具有现实应用价值。

### 参考文献：

[1] 李涛, 刘琮敏. 供弹机模糊自适应 PID 控制器设计[J]. 火炮发射与控制学报, 2009(1): 49-51.  
 [2] 栗建中, 宋文忠. 饱和特性下坦克火炮控制器的优化与仿真[J]. 工业控制计算机, 2006(2).

知：模糊神经网络 PID 控制器在动态性能方面明显优于常规 PID 控制器，可将正弦响应误差从 0.02 rad 降至 0.001 rad。

[3] 栗建中. 坦克火炮控制系统设计与仿真[D]. 南京: 东南大学, 2008.  
 [4] 张乃尧, 阎平凡. 神经网络与模糊控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.  
 [5] 刘金钺. 先进 PID 控制第二版[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.  
 [6] 肖敏, 张华, 贾剑平. 模糊神经网络 PID 控制在焊缝跟踪中的应用[J]. 微计算机信息, 2006, 22(9-1): 68-70.  
 [7] 孙海燕, 郭前岗. 模糊神经网络 PID 控制器在 DTC 中的应用[J]. 控制系统, 2007, 23(12-1): 57-59.  
 [8] DALEY S.GILL K F.A design study of a self-organizing fuzzy logic controller[J]. Proc. Institute of Mechanical Engineers.1986(200): 59-69.

\*\*\*\*\*

(上接第 66 页)

```
rdgArray =
myAgilent34980A.Measurement.FetchNumbersOnly;
myAgilent34980A.Route.Open("1001");
//“1001”通道打开
Next.
```

当对测试模块进行远程控制时，远程控制者通过网页中虚拟仪器控件或 IVI 驱动程序所使用的 Socket 接口，或者通过 IVI 驱动程序选用的 LAN 或者 USB 接口，在 Control Server 程序的协助下，和仪器的功能模块进行控制和数据信息交互。Control Server 是和 Web Server 并行运行的一个程序或者模块。一般情况下，Control Server 将远程控制者发送的数据和控制信息解析后，通过隔离的高速串行口将命令发送给 LXI 功能设备（比如信号源的函数发生部分），并读取功能设备产生的数据和其他控制信息，发送回虚拟仪器控件或者 IVI 驱动程序，作进一步的处理，从而实现通过远程设备控制的功能。

其中，虚拟仪器控件实现数据、波形的动态实时显示，把虚拟仪器控件嵌入到 Web 网页中，实现标准化的 LXI 设备远程控制功能。

### 4 结束语

目前，LAN 接口已广泛应用于仪器中，并取得较好的效果，该方法对该类仪器的接口实现技术方向有一定的推动作用和参考意义。

### 参考文献：

[1] LXI\_Revision\_1.2.01[S]. <http://www.lxistandard.org/home/>,2007,11,26.  
 [2] 郭恩全, 巩欣洲, 胡华伟. LXI 总线接口技术研究[J]. 陕西海泰电子有限责任公司, 2007.  
 [3] 郑人杰, 殷人昆, 陶永雷. 实用软件工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.  
 [4] IVI Foundation. IVI-4 IVI Scope Class Specification V1.0[S]. 1998.  
 [5] IVI Foundation. IVI-3.1 Driver Architecture Specification V1.3[S]. 2005.  
 [6] “LXI 联盟会员大会暨高级技术论坛”2007 会议资料. 2007.