

# 基于 LXI 网络仪器的自动发现与配置

周 欢,李宥谋,黄建军,刘 婧

(西安邮电大学,陕西 西安 710000)

**摘 要:** LXI 网络仪器是以 LXI(LAN eXtension for Instrumentation)作为仪器内部总线,由不同功能的 LXI 模块组成的新型仪器。LXI 模块本身带有自己的处理器、LAN 接口、电源和触发输入,相较于传统仪器,LXI 网络仪器具有组建灵活、高效、模块化等特点,并且具有较强的扩展性和开放性,允许用户灵活地选用不同厂商和不同类别的仪器设备,而不必仅限于单一厂商和单一类别的仪器设备来构建测控系统。在测量过程中实现仪器模块的“即插即用”尤为重要。将一般系统中的“即插即用”机制与 DHCP 动态主机配置协议相结合,提出基于 LXI 网络仪器的自动发现与配置方案。该方案可实现仪器代理模块和测量模块的自动发现、自动申报、自动加载和自动配置;通过在 LXI 网络仪器平台中的仿真与测量,运行效果良好,设计方案可行。

**关键词:** 仪器; LXI 总线; 即插即用; 测控

**中图分类号:** TP216

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2017)12-0197-04

**doi:** 10. 3969/j. issn. 1673-629X. 2017. 12. 042

## Automatic Discovery and Configuration Based on LXI

ZHOU Huan, LI You-mou, HUANG Jian-jun, LIU Jing

(Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710000, China)

**Abstract:** The LXI network instrument is a new one composed of LXI modules with different functions which is based on LXI (LAN eXtension for Instrumentation) bus. The LXI module has its own processor, LAN interface, power supply and trigger input. Compared with traditional instruments, LXI network instrument has the characteristics of flexible construction, high efficiency and modularity with strong expansibility and openness. It allows users to flexibly select devices from different manufacturers and different categories without having to be limited to a single manufacturer and a single category of instrument and equipment to build the measurement and control system. It is very important to realize the "plug and play" of the instrument module in the process of measurement. Combining common plug-and-play mechanism with the DHCP, a scheme of automatic discovery and configuration based on LXI network instrument is put forward. The scheme can realize the detection, declaration, loading, and configuration of instrument agent module and measurement module in the automation. Through simulation and measurement in LXI network instrument platform, the scheme is effective in operation with feasibility.

**Key words:** instrument; LXI bus; play and plug; measurement and control

## 0 引言

随着计算机技术、网络通信技术的飞速发展,测控系统逐步趋向于分布式、开放式的体系结构。开放系统具有可移植性、可互操作性、可伸缩性、易获得性等特征,基于开放系统技术构建的 LXI 网络仪器测控系统允许用户灵活地选用不同厂商和不同类别的仪器设备,而不必仅限于单一厂商和单一类别的仪器设备。

传统的仪器只能实现特定的功能,功能较单一且

固定,而 LXI 网络仪器是指由不同功能的仪器模块通过 LXI(LAN eXtension for Instrumentation)总线组成的新型仪器,用户可以根据测量需求选择所需要的功能模块,组建灵活、高效、可靠、模块化的仪器测控系统,具有较强的扩展性。

由于系统是由不同厂商、不同种类的仪器模块组建的,且系统中不仅存在 LXI 网络仪器,而且存在非 LXI 仪器设备,由于非 LXI 仪器设备仅具备简单的 I/O

收稿日期:2017-01-03

修回日期:2017-05-05

网络出版时间:2017-09-27

基金项目:陕西省重大科技创新专项资助项目(2010ZKC02-08)

作者简介:周 欢(1992-),女,硕士研究生,研究方向为嵌入式系统开发与设计;李宥谋,教授,研究方向为集成电路设计、嵌入式系统开发与设计。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170927.0958.048.html>

能力,而不具备网络接口,无法直接接入网络,使得 LXI 网络仪器测控系统的系统配置变得非常困难。因此文中结合“即插即用”<sup>[1-2]</sup>机制,提出基于 LXI 网络仪器的自动发现与配置方案。该方案可实现 LXI 网络仪器中代理模块和测量模块的自动发现、自动申报、自动加载和自动配置。

基于 LXI 网络仪器的自动发现与配置应具备以下功能:自动发现接入 LXI 网络仪器测控系统中的仪器代理模块或仪器设备;自动为仪器代理模块分配 IP 地址;自动确定仪器设备的资源需求,下载设备接口驱动;自动加载网络仪器对应的设备驱动程序;自动完成控制台、仪器代理模块、仪器设备之间的通信;自动生成仪器设备网络拓扑图;仪器设备主动向控制台报告其故障信息。

文中提出的 LXI 网络仪器自动发现及配置方案能及时反映 LXI 网络仪器测控系统中各仪器设备的动态变化,即当一台仪器设备加入网络或从网络中拔除的时候,不需任何配置,用户就可以通过控制台远程控制仪器设备,获取仪器设备的状态信息,对其进行统一的维护、管理。

## 1 LXI 网络仪器及仪器模块的即插即用

LXI 仪器总线技术实现了测试测量领域的网络化,将传统仪器发展成为网络仪器。目前新生产的仪器都带有 LAN 口,并在仪器内部封装了高速局域网仪器协议(HISLIP)服务器端作为仪器的网络接入模块,因此 LXI 网络仪器可以直接接入网络,实现在管理端对仪器设备进行远程网络化管理和数据传输。但许多传统仪器并没有将网络接入模块封装在仪器内,所以不能将其直接接入网络。为了能对这些传统仪器进行网络化管理,就需要一个 LXI 代理将管理端和仪器间接连接起来。LXI 代理选用 OK6410 开发板,设计了 LAN 口、USB、GPIB、串口等接口电路,可直接与仪器连接,将传统仪器网络化,可支持对不具备 LAN 口的传统仪器的网络化管理。但由于仪器种类多样化,接口种类繁多,仪器之间没有一个统一的接口协议,使仪器接入局域网后,需要进行繁琐的配置,才能完成仪器与管理端的通信与测量。LXI 网络仪器与仪器模块即插即用,可使仪器不需手动进行复杂的配置即可接入网络,并可自动完成系统及仪器的相关配置,使仪器接入局域网的过程变得更加简单、灵活。

LXI 网络仪器及仪器模块的即插即用<sup>[3]</sup>主要包括以下几部分:

(1)自动发现插入局域网中的 LXI 网络仪器及仪器代理模块。自动发现包括仪器发现和仪器识别,其中仪器发现是从获取局域网中所有仪器的主机名、IP 地

址、MAC 地址;仪器识别是指在获得仪器的主机名或 IP 地址后,进一步获得仪器的制造商、仪器类型、序列号等信息的过程。

(2)自动确定仪器模块的资源需求(设备接口驱动),仪器模块接入网络后,自动加载其接口驱动程序,实现仪器模块与管理端、控制台进行通信。

(3)自动加载网络仪器设备的驱动程序和虚拟仪器软面板,实现在远端控制台操作仪器,获取仪器状态信息或测量数据,并对仪器进行设置。

(4)自动生成仪器设备网络拓扑,仪器模块接入局域网后,能够直观地观察测控系统的分布情况,便于对整个测控系统进行统一管理与维护,在主控制台生成仪器设备的网络拓扑。

(5)主动通知主控制台设备状态的变化信息。

## 2 仪器代理的发现与配置

LXI 仪器代理将管理端和仪器设备连接起来,将没有 LAN 口的传统仪器模块接入局域网,可以通过网络对传统仪器进行控制、维护、管理,并实现仪器的远程测量,安全、方便的数据传输。仪器代理发现的工作过程<sup>[4]</sup>如图 1 所示。

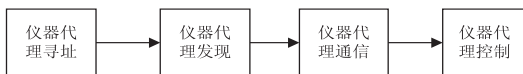


图 1 仪器代理发现工作过程

仪器代理寻址:仪器代理首次接入局域网后,主动向后台 DHCP 服务器发送 IP 地址请求消息,获取 IP 地址。

仪器代理发现:仪器代理一获得 IP 地址,就主动向主控制台推送其 IP 地址、MAC 地址、子网掩码、代理型号等信息,发送加入网络的通知事件,触发控制台将其加入到网络拓扑中,并创建一个 IP 地址与 MAC 地址的资源映射表以便后续的控制及管理。

仪器代理通信:仪器代理被发现后,还需建立其与主控制台及后台服务器的通信,仪器代理与后台服务器通过 HISLIP 高速以太网仪器协议通信。HISLIP 是专门用于仪器通信和仪器远程控制的协议,是 LXI 标准的扩展功能,它基于 TCP/IP 协议,使用面向连接的 TCP 进行通信,同时支持 IPV4 和 IPV6<sup>[5]</sup>。

仪器代理控制:SNMP(简单网络管理协议)将每一个被管理的仪器设备资源管理参数看成一个对象,MIB 库是这些对象的集合,该协议可对所有接入网络的仪器代理进行管理。仪器代理被发现后,利用 SNMP 协议的 GET/SET/TRAP 命令对其进行远程操作与管理<sup>[6]</sup>,其网络管理模型如图 2 所示。

仪器代理的发现首先要实现仪器代理 IP 地址的分配,这是 LXI 网络仪器自动发现首先必须解决的问

题。LXI 网络仪器自动发现采用 DHCP 动态主机配置协议<sup>[7-10]</sup>,为接入系统中的仪器代理模块分配 IP 地址。仪器代理在接入网络时,作为一个 DHCP 客户端<sup>[11-12]</sup>,向系统中的 DHCP 服务器请求分配 IP 地址。仪器代理获得 IP 地址后,就主动推送自己的 IP 地址、MAC 地址、子网掩码、代理型号等信息到主控制台,控制台自动将推送的仪器代理加入到测量系统中,并创建一个 IP 地址与 MAC 地址的资源映射表,方便对其进行统一管理与维护。

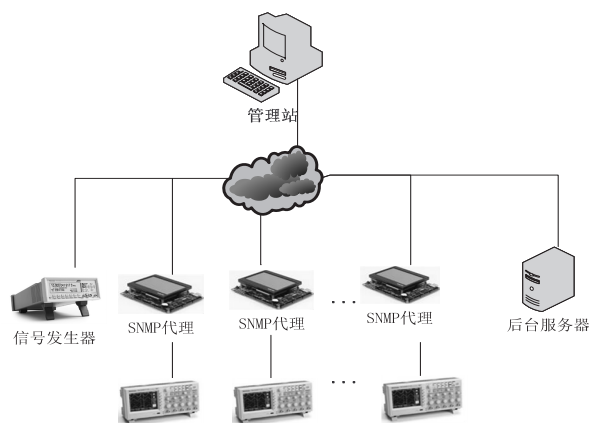


图 2 网络管理模型

使用 DHCP 动态主机配置协议实现仪器代理自动发现有以下优势:

(1)即插即用:只要在局域网中搭建了 DHCP 服务器,就可以将需要联网管理的仪器设备接入网络,不需要进行其他配置即可自动获取 IP 地址;

(2)统一的地址管理:DHCP 本身的机制决定它可以实现地址不冲突,并可以集中管理预留 IP 地址;

(3)高效的 IP 地址使用:当仪器设备接入网络时,DHCP 服务器会自动为仪器分配网络参数,而当仪器设备从网络中被拔除时,该仪器设备使用的 IP 地址将会被释放,以供之后接入网络中的仪器设备使用。

仪器代理自动发现的实现步骤为:

(1)搭建 DHCP 服务器环境,用下面命令安装 DHCP 服务:sudo apt-get install dhcp3-server。

(2)配置 DHCP 服务监听的网卡:将 INTERFACES 设置为 eth0。

(3)修改 DHCP 服务器的配置文件 dhcpd.conf,设置客户端默认网关、子网掩码、域名,定义 DHCP 地址池的服务范围、默认租约时间、最大租约时间、静态 IP 地址等,并设置 DHCP 服务器的 IP 获取方式为手动 (Manual)。

(4)配置 LXI 仪器代理:设置 OK6410 开发板 IP 获取方式为 DHCP,修改系统的启动文件,将 BOOT-TRAP 设置为 DHCP,具体配置见图 3。

(5)测试 DHCP 服务器是否能动态分配 IP 地址给

LXI 仪器代理(运行在 OK6410 开发板上),测试方式见图 4。



图 3 LXI 仪器代理的配置

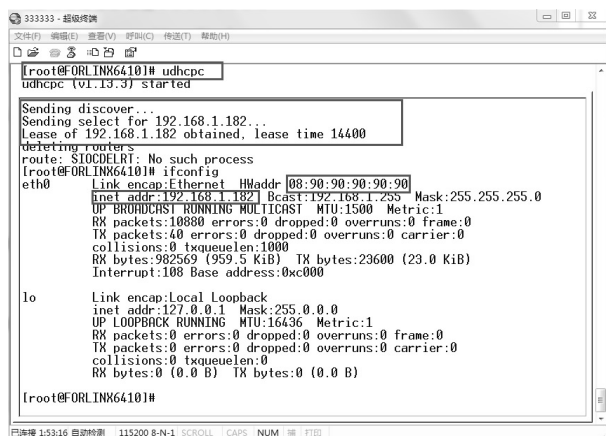


图 4 测试 DHCP 服务器

(6)通过 shell 脚本(如图 5 所示)对租约文件 dhcp.lease 中的 IP 地址和 MAC 地址进行提取整理,并写入到文件 dhcp.txt 中。由 DHCP 服务器分配的 IP 数据记录都存放在租约文件“var/lib/dhcpd/dhcp.lease”中,租约文件记录了已分配的每个 IP 地址信息(租约记录),包括 IP 地址、客户端的 MAC 地址、租用的起始时间和结束时间等。每个 IP 地址信息用一个结构体表示。该文件由若干个这样的结构体构成,其结构体格式如图 6 所示。

```
#!/bin/bash
cat /var/lib/dhcp/dhcpd.leases | grep -E "lease|hardware" | grep -oE "[0-9]{1,3}\.[0-9]{1,3}\.[0-9]{1,3}\.[0-9]{1,3} | [0-9]{1,3}:[0-9]{1,3}:[0-9]{1,3}:[0-9]{1,3} | [0-9a-z]{2}:[0-9a-z]{2}:[0-9a-z]{2}:[0-9a-z]{2}:" | sort -u > /tmp/dhcp.txt
```

图 5 提取 IP 地址和 MAC 地址的 shell 脚本

```
lease 192.168.1.182 {
    starts 3 2016/04/13 03:27:48;
    ends 3 2016/04/13 07:27:45;
    cltt 3 2016/04/13 03:27:48;
    binding state active;
    next binding state free;
    rewind binding state free;
    hardware ethernet 08:90:90:90:90:90;
    uid;
}
```

图 6 租约记录结构体格式



由于同一个 MAC 地址可能在不同时段释放和申请同一个 IP 地址,因此对经过 shell 脚本文件提取出来的 IP 地址和 MAC 地址进行了排序和过滤,将重复的内容删除掉,经过过滤的 IP 地址和 MAC 地址映射关系如下所示。

192.168.1.180 14:fe:b5:e3:f2:69

192.168.1.181 20:6a:8a:4d:31:96

192.168.1.182 08:90:90:90:90:90

### 3 仪器模块的发现与配置

仪器代理模块被发现后,还要对连接在代理上的仪器或测量模块进行发现,进而达到远程操作仪器的目的。仪器代理模块上有多种接口,一般都有 USB 接口和 RS232 串口,因此仪器模块的发现采用定时轮询扫描仪器代理各个接口,读取接口上有无状态变化,判断仪器模块是插入系统,还是退出系统,对于 USB 接口是否接入仪器的发现,通过判断是否打开成功来判断 USB 串口是否被占用。

仪器模块的发现步骤如下:

(1) 初始化仪器发现模块。

(2) 搜索仪器。通过轮询扫描仪器代理开发板上的 USB 口,判断其是否被占用。

(3) 加载 USBTMC 驱动。仪器插上之后,若检测到不能与仪器通信,则发送请求信息到控制台,查看后台资源库是否与相应的仪器接口驱动。若有,则下载并安装该驱动到仪器代理开发板上;若无,则跳转至仪器官网平台远程加载安装该设备接口驱动,建立仪器与仪器代理的通信,实现仪器代理与仪器的信息交互。

(4) 获取仪器类型。仪器代理与仪器建立通信后,代理发送 SCPI 查询指令 \* IDN? 查询仪器设备制造商、仪器类型、序列号、设备描述、硬件版本和基本配置等信息。

(5) 远程控制。仪器接入网络后,事件触发控制台加载其虚拟仪器软面板,实现远程操作仪器设备,并获取仪器状态信息。

(6) 自动加载网络拓扑。将仪器模块自动加载到控制台界面仪器设备网络拓扑中,可以更直观地对整个系统中的仪器设备进行统一管理。

### 4 仪器离线后的注销过程

HISLIP 具有仪器清除功能,可以实现对所连接的仪器设备清除操作,释放仪器资源,节省资源空间。

系统会定时扫描仪器代理各个接口,一旦检测到离线的仪器设备,便将其从主控制台网络拓扑中移除,并回收分配给它的资源。代理模块定时发送 SCPI 查

询指令给接口上的仪器,查看是否能获取到该接口上仪器的设备制造商、仪器型号、序列号、硬件版本等基本信息。若能获取到这些信息,则该仪器在线,发送 SCPI 仪器状态控制指令,只需更新后台数据库中该仪器的测量数据信息,而不需更新其基本信息;若连续三次获取不到该接口仪器,认为该接口上的仪器已被拔除,更新后台数据库信息,将该仪器信息从后台数据库中删除,控制台会根据更新后的数据库信息更新系统的配置资源,删除离线模块的驱动程序,释放资源。

### 5 结束语

结合一般系统中的“即插即用”机制,提出了一种基于 LXI 网络仪器的自动发现与配置方案,可实现 LXI 网络仪器中代理模块和测量模块的自动发现、自动申报、自动加载和自动配置;通过在 LXI 网络仪器平台中的仿真结果表明,其运行效果良好,证明 LXI 网络仪器自动发现与配置方案是可行的,对于提升 LXI 网络仪器测控平台的工作效率具有十分重要的意义。

#### 参考文献:

- [1] 张国敏,庞国梁,周 晓,等. 通用即插即用 (UPnP) 技术[J]. 军事通信技术,2004,25(1):53-57.
- [2] 周 晓,蒋序平,陈 鸣. 网络即插即用及其体系结构[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版,2002,3(2):1-5.
- [3] 石 勇,袁璐鸣. UPnP 开发技术及应用[J]. 计算机与数字工程,2008,36(4):158-160.
- [4] 王士争. 主从通信模式下即插即用技术的研究和实现[D]. 南京:南京邮电大学,2012.
- [5] 李小锋,李宥谋,郭 猛,等. HISLIP 协议的研究与应用[J]. 测控技术,2014,33(2):91-94.
- [6] 郭 猛,李宥谋,李小锋. 嵌入式仪器仪表网络代理设计与实现[J]. 自动化仪表,2013,34(12):66-69.
- [7] DROMS R. Dynamic host configuration protocol[S]. [s. l.]: Network Working Group,1997.
- [8] LEMON T, CHESHIRE S. Encoding long options in the dynamic host configuration protocol (DHCPv4)[S]. [s. l.]: [s. n.],2002.
- [9] KOMORI T, SAITO T. The secure DHCP system with user authentication[C]//27th annual IEEE conference on local computer networks. [s. l.]: IEEE Press,2002:123-131.
- [10] FLORIS A, TOSETTI L, VELTRI L. Solutions for mobility support in DHCP-based environments[C]//International conference on communications. Anchorage, Alaska: IEEE, 2003: 1043-1047.
- [11] 樊滨温,崔志强. DHCP 协议客户端的实现[J]. 计算机应用与软件,2007,24(11):144-146.
- [12] 李莉敏. DHCP 技术及其安全性的研究与优化[D]. 西安:西北工业大学,2005.