

doi: 10.7690/bgzdh.2014.06.013

LXI 总线标准最新进展及发展趋势

乐天¹, 蔡远文², 解维奇¹, 辛朝军¹, 赵乙镔¹

(1. 装备学院研究生管理大队, 北京 101416; 2. 装备学院航天装备系, 北京 101416)

摘要: 为了适应频繁变化的局域网在仪器领域的扩展(LAN eXtensions for Instrumentation, LXI)标准, 对 LXI 标准的最新变化状况进行研究。在介绍 LXI 总线技术在国内外发展情况的基础上, 阐述了 LXI 标准新加入的 IPv6 和 HiSLIP 技术, 通过将现有的 IPv4 和 VXI-11 协议标准分别与最新标准 IPv6 和 HiSLIP 的特点和规则进行比较, 得出了规则的进展情况, 并对 LXI 在我国的处境进行分析, 展望了 LXI 在我国的发展前景。该研究为及时了解 LXI 标准最新动态提供了参考。

关键词: LXI 标准; 仪器; HiSLIP; IPv6**中图分类号:** TP393.1 **文献标志码:** A

Latest Development Trend of LXI Standard

Le Tian¹, Cai Yuanwen², Xie Weiqi¹, Xin Chaojun¹, Zhao Yibin¹(1. *Administrant Brigade of Postgraduate, The Academy of Equipment, Beijing 101416, China;*2. *Department of Spaceflight Equipment, The Academy of Equipment, Beijing 101416, China*)

Abstract: In order to adapt the continual development of the LAN eXtensions for instrumentation (LXI) standard, the latest changes of LXI standard are studied. On the basis of the introduction of development situation at home and abroad of LXI technology, HiSLIP and IPv6, which is just joined in LXI, are expounded. Via comparing with IPv4 and VXI-11, the rules changes of IPv6 and HiSLIP in LXI are reached. The prospect of LXI is looked forward at last through the analysis of the situation of LXI in China. References for knowing the latest trend of LXI standard in time are provided.

Keywords: LXI standard; instrument; HiSLIP; IPv6

0 引言

局域网在仪器领域的扩展(LAN eXtensions for Instrumentation, LXI)标准在 2004 年由 Agilent Technology 和 VXI Technology 推出, 至今发展已近 10 a。在这 10 a 中, 多种支持 LXI 的仪器面世。在创造了巨大的经济效益的同时, LXI 标准也有了一些新的变化。

2004 年 11 月, LXI 联盟成立。该联盟是一个由业界领先的测量仪器厂商、系统集成商和最终用户共同组建的非赢利组织。其目标是开发、支持和促进 LXI 标准, 用公开的规格与功能的测试来获得业内对测试测量寻求的标准方案。到目前为止已经有 51 家单位加入 LXI 联盟, 其中 37 家仪器供应商。2012 年 LXI 仪器市场的总额达到了 6.44 亿美元(Frost & Sullivan 调查)。LXI 联盟在 2013 年 3 月公布的数据显示, 已经有 231 个 LXI 产品系列, 2172 种 LXI 产品投入市场^[1]。联盟于 2005 年 9 月推出了 LXI 标准 V1.0, 后来又分别于 2006 年 8 月、2007 年 7 月、2008 年 9 月推出了 LXI 标准 V1.1、V1.2、V1.3。2010 年 8 月 LXI 联盟更新了标准号, 推出 V1.4, 并在 2011 年 5 月通过了一致性测试(Plug

fest)^[2]。目前, 美国海军联合自动化保障系统(consolidated automated support system, CASS)、陆军的综合测试设备系列(integrated family of test equipment, IFTE)总线系统、海军陆战队的第三梯队测试系统(third echelon test system, TETS)的系统升级改造已经采用了 LXI 技术^[3]。除此之外, LXI 技术还被应用于机身疲劳测试、飞机结构测试、导弹测试系统、使用合成仪器的雷达测试等方面。

国内方面, 2006 年 9 月, 中国 LXI 联合体正式成立。在其后的几年, 我国掀起了一段 LXI 的研究开发热潮, 2010 年关于 LXI 的论文数量达到顶峰。2013 年 5 月, 2013 国际 LXI 技术大会在北京召开。会议着重探讨了仪器间通过 LXI 进行网络互连面对的技术挑战和解决方案。近几年来, 我国在 LXI 总线技术理论研究和应用技术研究方面已经取得了很大的进展。包括陕西海泰、航天测控、哈工大、电子科大、普源精电、瑞丰协同等单位都在积极跟踪和研究 LXI 及其相关标准, 也研制出许多产品。如瑞丰协同研制的基于 LXI 总线的航天静力试验数据采集系统, 又如北京东方振动和噪声技术研究所的基于 LXI 和 CXI 总线技术的云智慧测试系统等^[4-6]。

收稿日期: 2014-01-05; 修回日期: 2014-02-13

作者简介: 乐天(1989—), 男, 江苏人, 在读工学硕士, 从事飞行器测试与控制研究。

经过 9 年的发展，LXI 标准不断变化。在 2013 年 5 月份的 LXI 技术会议上仍然有许多公司宣传他们的产品符合 C、B、A 标准，而早在 v1.3 版本中就已经取消了这种说法。一方面说明国内 LXI 产品的研究与开发没有及时跟上 LXI 联盟，另一方面也突显出了频繁变化的 LXI 标准让众多研发单位目不暇接。

基于此，针对其中新加入的 IPv6 技术和 HiSLIP 技术，对其加入的动因及影响等进行详细研究。

1 IPv6 的加入

1.1 动因分析

在 2010 年 LXI 联盟取消了“类”结构划分后，在基本的(也就是以前的 C 类)设备上扩展了 5 个关键功能：LXI 硬件触发总线、LXI 事件消息、LXI 时钟同步、LXI 时间戳数据、LXI 事件记录。如今 LXI 标准中又加入了 IPv6 和 HiSLIP 标准。这 7 个功能构成了 LXI 的扩展功能，如图 1 所示。每个功能都需要通过一致性测试。

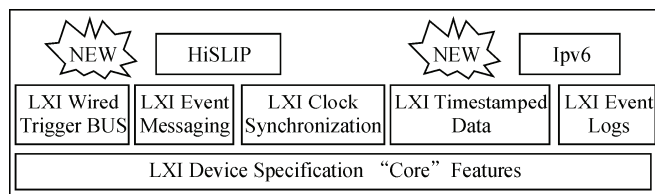


图 1 LXI 扩展功能

LXI 仪器严格基于 TCP/IP 协议，但随着测试仪器的增多，IP 地址会出现不够用的情况。在 2011 年互联网地址编码分配机构和区域性互联网注册机构亚太互联网络信息中心已经耗尽了免费的 IP 地址。IPv6 是互联网工程任务组 (internet engineering task Force, IETF) 设计的用于替代现行版本 IP 协议的下一代 IP 协议，提供了横跨多个网络的端到端数据报文传输。它定义了一种新的数据包格式，与 IPv4 的数据包头有显著不同，故 IPv6 与 IPv4 不能同时工作。IPv4 可以支持 4,294,967,296 个地址，而 128 位的 IPv6 的地址几乎是用不完的。所以为了使众多仪器都具有各自的 IP 地址，LXI 需要支持 IPv6。

1.2 变化分析

IPv6 的加入对测试影响主要体现在两方面。

1) 测试硬件需求的变化。

为了能够利用 LXI IPv6 扩展功能来测试，需要一个支持 IPv6 的路由器，该路由器支持禁用自动设定全局 IPv6 地址的配置，支持启用为无状态的全球地址自动配置的路由器通告，以及支持启用

DHCPv6 指定的全球地址配置。

以 Dlink DIR-825 路由器为例进行一致性测试，该路由器支持上述所有模式。如图 2 所示。

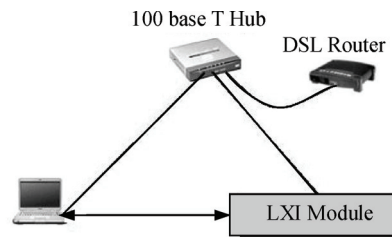


图 2 测试硬件

① 测试网络将类似当下的测试网络，Dlink DIR-825 替代 Linksys WRT54G 路由器。即 DSL 路由器。

a) IPv4 初始配置：IP 地址：192.168.1.1，DHCP 地址范围 100...110。这个将随着测试过程而变化。设置 DNS 服务器 192.168.1.1。

b) IPv6 初始配置：静态广域网 IP 地址：2000:1::218:e7ff:fe3700(后缀是 mac 地址，将与其他 DIR 825 的不一样。

c) 前缀长度：64。

d) 缺省网关：2000:1::1。

e) IPv6 DNS 服务器：2000:1::1。

f) 局域网地址：2000:2::123。

g) 启用自动 IPv6。

h) 自动配置类型：无状态地址自动配置 + Recursive DNS 服务器 (将随测试而变化)。

i) 路由器通告时长：5 min。

② 100baseT 集线器是一个 Netgear DS104，必须是一个真正的集线器而不是交换机。

③ 监控计算机：一般这是一个 Windows7 x64 的笔记本电脑，操作系统装有 LXI 一致性测试套件。它的局域网配置是：

a) IPv4。

静态 IP 地址 192.168.1.99

子网掩码 255.255.255.0

网关：192.168.1.1

b) IPv6。

静态 IPv6 地址 2000:2::500

前缀长度 64

网关 2000:2::123

IPv6 DNS 服务器 2000:2:123

注释：为 LXI 精确时钟扩展功能测试，这里也有一个 IEEE 488 硬件时钟附属于 100baseT 集线器^[7]。

2) 对测试规则的影响。

如表 1 所示, IPv4 与 IPv6 在测试时所要求的规则有所不同。

表 1 IPv4 与 IPv6 的规则比较

序号	规约项目	IPv4	IPv6
1	TCP/IP, UDP 协议	要求	要求
2	ICMP PING 响应	要求并且默认	要求 ICMPv6 并且默认
	提供组播 DNS 地址的 PING 相应	—	推荐
	提供禁用 ICMP PING 响应的途径	推荐	推荐
	支持 ICMP PING Client	推荐	推荐, 应是 ICMPv6
3	地址配置策略	支持 3 种: DHCP, 动态配置链路本地地址, 手动配置。	支持“有状态”和“无状态”的地址自动配置。通过 DHCP 服务器配置是有状态; 使用路由器则是无状态。推荐使用 DHCPv6 要求默认禁止隐私设置。
		—	—
4	重复地址检测 (DAD)	要求	要求
5	检查网络配置是否有效	推荐	推荐
6	支持组播 DNS	—	要求
	在 IPv6 网络上支持 DNS	—	要求
	发送 AAAA DNS 记录	—	推荐
	所有命名中单独设置主机名	推荐	推荐
	提供手动 DNS IP 地址入口	推荐	推荐
提供 DNS Client	推荐	推荐, 应是 DNSv6 Client	
7	提供 LAN 配置错误指示器	要求	要求
	结合 IPv4 和 v6 的 LAN 状态指示器	—	要求
	单独的 IPv4 和 v6 指示器	—	允许
	默认启用 IPv4 和 v6 指示器	—	要求
8	LAN 配置初始化	要求	要求
9	LXI 时钟同步变化	支持在 IPv6 之上通过 UDP 发送 IEEE1588 消息	—
	支持 IEEE1588 的 IPv4 和 v6 选择	—	要求
	满足 LXI 时钟同步页面的变化	—	要求
10	LXI 事件消息传递变化	用 IPv6 组播地址和端口号	—
	IVI 驱动程序使用方括号中的 IPv6 地址	—	要求
11	LAN 发现和鉴别变化	通过 IPv6 访问 LXI XML 鉴别文档	—
	在 XML<interface>中包括 LXI IPv6 地址	—	要求
	在 XML<interface>中包括 LXI IPv6 链路本地地址	—	推荐
	<Gateway>项中包含 IPv6 地址	—	要求
	<SubnetMask>项中包含 LXI 前缀长度	—	要求
<LxiExtendedFunction>项中包含 LXI IPv6 功能	—	要求	
12	关于显示的其他规则	无特殊要求	各处注明 IPv6

注: 在地址配置策略中, 共同点是 DHCP 有效租期不更新则停止使用 DHCP 配置的 IP 地址; 如果更新, 则遵照新的设置值来执行。

2 HiSLIP 的加入

2.1 动因分析

目前 LXI 总线仪器主要使用 VXI-11 协议, 但该协议在性能和仪器同步跟踪上存在缺陷, 而且不支持 IPv6。HiSLIP 是 IVI 基金会发布的一个无专利的标准, 该标准为各种各样的 VISA 库版本所支持。HiSLIP 包含了 VXI-11 所没有的 IEEE488.2 通信的一些特点: 串行队列与状态查询、触发报告、服务请求、通过消息交换协议的中断错误探测、控制多重虚拟仪器时的共享/独立仪器锁机制^[8], 这使它能方便地代替 VXI-11 对仪器在 LAN 上进行控制。HiSLIP 既支持 IPv4 也支持 IPv6, 它在网络协议层是透明的。HiSLIP 具有比现有的其他接口更快的速度, 一些仪器可以接近千兆局域网的理论上限。因此, LXI 联盟采用 HiSLIP, 作为 LXI 联盟推荐的 LAN 仪器控制协议。

2.2 HiSLIP 简介

高速局域网仪器协议 (high speed LAN

instrument protocol, HiSLIP) 扩展功能利用 IVI 基金会制定的 HiSLIP 标准, 通过扩展 VXI-11 所提供的特性创建一个快速控制接口, 以及模仿 GPIB 设备的能力。HiSLIP 具有如下特点:

- 1) 类似套接字 I/O 速率;
- 2) 可靠的 EOM(end of message) 信号机制, 不管数据内容;
- 3) 异步服务请求信号机制;
- 4) 读取仪器状态字;
- 5) 异步的设备清零支持;
- 6) 群触发;
- 7) 远程/本地模式切换;
- 8) 更好的锁支持;
- 9) 中断错误探测/修正;
- 10) IPv6 与 IPv4 支持。

表 2 显示了若干 HiSLIP 与 VXI-11 协议和原始套接字通过 LAN 连接的特点比较。HiSLIP 支持所有主要的远程控制所需的协议功能, 并且提供更好的灵活性。

表 2 原始套接字、VXI-11、HiSLIP 特点比较^[9]

特点	原始套接字	VXI-11	HiSLIP
GPIB 枚举	—	支持	支持
仪器锁(共享/独立)	—	独立锁	支持
支持信息交换协议	—	支持	支持
支持 Ipv6	支持	—	支持
高性能	支持	—	支持

相对于 VXI-11, HiSLIP 主要提升在于:

1) 与 VXI-11 不同, HiSLIP 不用 ONC/RPC 协议, 消除了多余的消息提升了性能;

2) HiSLIP 更加“IT 友好”, 允许更简便地通过防火墙和路由器进行数据传输。因为只注册了一个端口号(4880), 防火墙配置更加简便;

3) HiSLIP 支持独立/共享锁机制, 然而 VXI-11 只支持独立锁。

图 3 表示了 HiSLIP 协议的通信过程, 其中的

VISA 是 LAN 连接仪器的应用层上的标准的 I/O 通信接口。

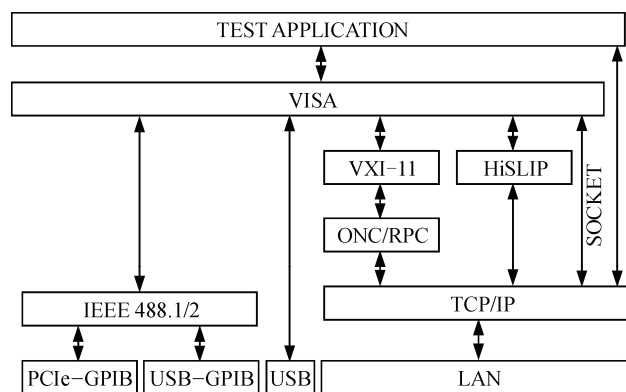


图 3 通信过程

表 3 显示了大多数远程控制接口所支持的最大理论带宽。

表 3 接口带宽比较^[10]

接口	接口最大吞吐量/(Mbyte/s)	协议	接口一般吞吐量/(Mbyte/s)
1 Gbit/s LAN	125.0	HiSLIP, Raw Sockets	60
100 Mbit/s LAN	12.5	HiSLIP, Raw Sockets	11
1 Gbit/s LAN	125	VXI-11	34
100 Mbit/s LAN	12.5	VXI-11	11
USB2.0	60.0	USBTMC	18
GPIB-PCI	1.8	IEEE 488.2	1

可见, 在 1 Gbit/s LAN 接口中, HiSLIP 的一般吞吐量比 VXI-11 要高出许多。

2.3 影响分析

HiSLIP 指定了仪器需要满足: LXI HiSLIP 协议要求、DNS-SD 服务要求、网页要求、设备信息 XML 要求。

2.3.1 协议要求

LXI HiSLIP 协议要求定义了 HiSLIP 与 LXI 已有标准之间的关系。需要遵从 LXI 说明书标识仪器; 按要求复位 HiSLIP 端口(4880)以对 LCI 作出应答。最重要的是要满足 LXI 一致性要求, 在“LXI Consortium Policy for Certifying Conformance to LXI Consortium Standards”中有明确说明。

2.3.2 DNS-SD 服务要求

定义了通告机制、命名规则和 TXT 报告密钥格式。设备要能够进行 IPv4 连接(推荐 IPv6 连接), 之后设备需要宣告它们接受通过 DNS-SD 服务的 HiSLIP 连接的声明。设备应该对所有 LXI DNS-SD 服务用同样的服务命名, 包含服务类型命名“_hislip._tcp”。服务声明应该具有的 TXT 报告密钥格式如下:

txtvers=<version of TXT record>
(推荐, 但如果 version 是 1 的话可能省略, 如

果省略则默认为: “txtvers=1”; 如果有, 必须是第 1 个 TXT 报告密钥。)

Manufacturer=<响应 IEEE 488.2 *IDN?的第 1 个元素>

Model=<响应 IEEE 488.2 *IDN?的第 2 个元素>

SerialNumber=<响应 IEEE 488.2 *IDN?的第 3 个元素>

FirmwareVersion=<响应 IEEE 488.2 *IDN ?的第 4 个元素>

例如:

txtvers=1

Manufacturer=Example Test Inc.

Model=LXI-1

SerialNumber=65193

FirmwareVersion=1.0

2.3.3 HiSLIP 网页接口

定义了欢迎页面的显示项目、端口配置页面。在欢迎页面“LXI 设备地址字符串”显示项目应该包含 HiSLIP 地址字符串, 该字符串对于请求一个 HiSLIP 连接是必要的。据“VPP-4.3: VISA 库”中章节 4.3.1 说明, 该 HiSLIP 连接服从 VISA5.0 HISLIP 地址字符串格式。

“LXI 设备地址字符串”显示项目包含其他地址字符串。每个地址字符串应该是有分隔线隔开以

方便复制粘贴。

VISA HiSLIP 地址字符串按照如下格式:

```
TCPIP[board]::host address[::HiSLIP device name[,HiSLIP port]][::INSTR];
```

Board 表示网络接口号(默认为 0);

Host address 表示主机名或 LXI 设备的 IP 地址;

HiSLIP device name 以“hislip”起头,通常用“hislip0”;

HiSLIP port 表示用来连接的端口号,默认值是 4880。

例如:

```
TCPIP::1.2.3.4::hislip0::INSTR
```

即:设备的 IPv4 地址:1.2.3.4,同时使用默认的接口号和 HiSLIP 端口号。

```
TCPIP::[fe80::1]::hislip0::INSTR
```

即:设备的 IPv6 链路本地地址:fe80::1,同时使用默认的接口号和 HiSLIP 端口号。

2.3.4 XML 要求

在 LXI 识别 XML 中列入 HiSLIP 地址字符串,例如:

```
<InstrumentAddressString>TCPIP::1.2.3.4::hislip0::INSTR</InstrumentAddressString>
```

```
<InstrumentAddressString>TCPIP::1.2.3.4::hislipAnalyzer::INSTR</InstrumentAddressString>
```

所有执行 HiSLIP 的 LXI 设备应该在 <LxiExtendedFunctions>XML 元素中列入 1 个 <Function>元素以及 1 个版本属性(包括版本号),该元素的功能名归属为“LXI HiSLIP”。如果端口号不是默认的 4880 号,<Function>元素应该列入 1 个 <Port>元素并显示当前端口号。例如:

```
<Function FunctionName="LXI HiSLIP" Version="1.0">
```

```
<Port>12345</Port>
```

```
</Function>[11]
```

3 LXI 在中国的现状

目前 LXI 在中国的产品主要有 2 类:一种是整合 VXI、GPIB 等现有的测试设备到局域网中;另一种是纯粹的 LXI 总线仪器。众所周知,航天与军工对所涉及的一系列产业具有强大的拉动作用。但 LXI 目前还没有进军这些领域,究其原因主要有:

1) LXI 标准改动频繁,不易把握;

2) 企业开发出的 LXI 仪器不少,但没有大型应用案例;

3) 用户没有明确需求;

4) 没有证据表明其可靠性高于已经应用成熟的技术。

4 结束语

一个新生事物,总是要在解决各种各样的困难中前进,LXI 亦是如此。对于 LXI 如今的处境,提出以下几点参考建议:

1) 当务之急应该是明确用户所能获得的核心利益,指出最适合的应用领域以及 LXI 规范的改进对用户有什么好处。否则,频繁地改进 LXI 标准使得 LXI 业者疲于应付;

2) 近期目标应该是国内 LXI 研究与开发单位要摆脱一盘散沙各自为战的局面,团结起来,集中力量,争取与政府对话中的主动,从而得到政府支持来从事大型项目研发;

3) 根本出路应该是加强自主创新,团结起来的“中国 LXI 产业联盟”要在创新中发展,不能盲目地被动地接受国外的标准改动,这样才能在国际中以竞争求合作。

2011 年 7 月“国家重大科学仪器设备开发专项”启动,在过去两年中,共支持项目 119 项,国拨经费达 18 亿元,预计 2013 年累计投入将达到 33 亿元人民币。这无疑是一块巨大的蛋糕,对 LXI 在中国站稳脚跟、打开市场具有重要意义。

参考文献:

- [1] LXI Consortium. LXI Consortium Reaches Major Milestone[EB/OL]. <http://www.lxistandard.org>.
- [2] LXI Consortium. LXI Device Specification 2011 Revision 1.4[EB/OL]. <http://www.lxistandard.org>.
- [3] 周射. 基于 LXI 的数据采集模块的研究与设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2007: 10-12.
- [4] 颜思淼. 基于 LXI 总线的航天静力试验数据采集系统的研制[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(6): 36-42.
- [5] 蒋新广, 柳维旗, 姜志保, 等. 某型弹药制导系统的 LXI 总线自动测试系统[J]. 兵工自动化, 2013, 32(5): 46-49.
- [6] 应怀樵. 基于 LXI 与 CXI 总线的云智慧测试技术[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(5): 10-15.
- [7] LXI Consortium. LXI IPv6 Test Procedures Revision 1.0 [EB/OL]. <http://www.lxistandard.org>.
- [8] 林成文. LXI 总线 HiSLIP 扩展功能研究[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(5): 26-29.
- [9] 曹玲. LXI HiSLIP 协议解读与应用研究[J]. 信息技术与标准化, 2013(4): 43-47.
- [10] Rohde & Schwarz. Fast Remote Instrument Control with HiSLIP[EB/OL]. <http://www.lxistandard.org>.
- [11] LXI Consortium. LXI HiSLIP Extended Function v1.01[EB/OL]. <http://www.lxistandard.org>.