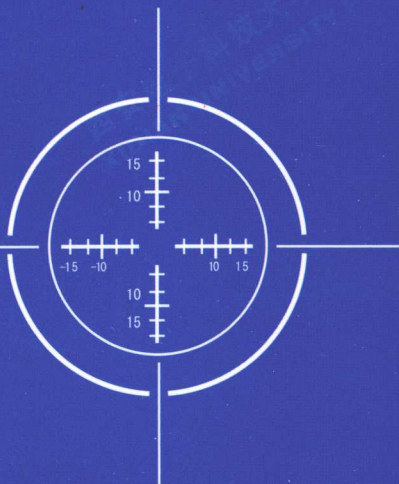




LXI 仪器发现机制实现

Implementation of Discovery Mechanism for LXI Instruments

耿建平 唐先红 朱望纯 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

013028214

TN915
125

LXI 仪器发现机制实现

Implementation of Discovery Mechanism for LXI Instruments

耿建平 唐先红 朱望纯 编著



西安电子科技大学出版社



北航

C1637415

TN915

125

内 容 简 介

本书依据 LXI 规范, 以 VXI-11 为主要研究对象, 对 LXI 中的 VXI-11 协议进行了充分的研究, 并在此基础上实现了 VXI-11 协议, 使通过 VISA 编写的测试程序能够访问 LXI 仪器, 为 LXI 仪器的研制实现了至关重要的一步。本书共 9 章, 主要内容包括 LXI 仪器发现机制、网络仪器服务器结构、VXI-11 核心和终止通道、VXI-11 中断通道、RPC 程序开发、系统测试和验证等。

本书可供测控技术与仪器等相关专业的工程技术人员参考, 也可作为高等院校相关专业研究生或高年级本科生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

LXI 仪器发现机制实现/耿建平, 唐先红, 朱望纯编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2013.3

ISBN 978-7-5606-2945-2

I. ① L… II. ① 耿… ② 唐… ③ 朱 III. ① 计算机通信网—测试—总线
IV. ① TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 249479 号

策 划 邵汉平

责任编辑 邵汉平

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2013 年 3 月第 1 版 2013 年 3 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×960 毫米 1/16 印 张 7

字 数 90 千字

印 数 1~1000 册

定 价 18.00 元

ISBN 978-7-5606-2945-2/TN

XDUP 3237001-1

如有印装问题可调换

前 言

LXI 是新一代测试总线，是局域网技术在仪器领域的扩展，在组建未来的分布式测试系统中具有重要的作用。国外对 LXI 的研究已经取得了一些成果，并已有少量的符合 LXI 规范的仪器面市。目前，国内对 LXI 的研究还处在起步阶段，还没有符合 LXI 规范的仪器推出。因此，开展对 LXI 的研究具有重要的意义。

作为 LXI 的关键技术之一，VXI-11 协议具有至关重要的作用。本书对仪器总线技术的发展进行了简单回顾，然后从 VXI-11 协议着手，对 LXI 仪器的框架结构、LXI 仪器的发现机制以及 VXI-11 协议所涉及的 RPC 和 XDR 进行了充分的分析和研究，在此基础上，实现了 LXI 仪器的发现机制和通过网络访问 LXI 仪器的基本功能。

最后，通过使用 VISA 函数编写的 LXI 测试程序和 VXI-11 协议发现工具对实现的 LXI 仪器进行了验证，证明了其正确性。本书的成果对研制 LXI 仪器提供了必要的基础。

本书是桂林电子科技大学耿建平老师从事 LXI 发现协议研究的工作成果。在撰写本书的过程中，笔者得到多方的帮助和支持，在此，谨向所有给予无私帮助和关心的朋友和老师表示由衷的谢意！

由于作者水平有限，书中难免会有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作 者
2012年9月

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 测试总线技术的发展历程.....	1
1.2 未来测试系统的组成.....	8
1.3 LXI 总线简介.....	9
1.4 LXI 仪器的现状及研究意义.....	12
第 2 章 LXI 仪器发现机制.....	14
2.1 VXI-11 协议简介.....	15
2.2 XDR 协议.....	17
2.3 RPC 协议.....	19
2.3.1 RPC 的特点及通信过程.....	20
2.3.2 RPC 服务表示.....	21
2.4 RPC 服务发现机制.....	22
2.5 VXI-11 协议发现机制.....	24
第 3 章 网络仪器服务器结构.....	26
3.1 LXI 仪器框架结构.....	27
3.2 VXI-11 网络仪器协议.....	28
3.3 VXI-11 网络仪器连接模型.....	31
3.4 VXI-11 网络仪器服务器结构.....	34
3.5 VXI-11 网络仪器数据结构.....	37
第 4 章 VXI-11 核心和终止通道.....	42
4.1 核心和终止通道的建立.....	42
4.2 核心和终止通道消息.....	44
4.2.1 核心通道消息.....	44
4.2.2 终止通道消息.....	54
4.2.3 几点说明.....	54

第 5 章	VXI-11 中断通道	56
5.1	中断通道的建立	56
5.2	单向 RPC 的实现	57
5.3	中断通道的消息	58
第 6 章	实现中考虑的问题	60
6.1	线程	60
6.2	多线程 RPC 服务器	63
6.3	线程同步机制	65
6.4	死锁	69
6.5	连接断开的处理	70
第 7 章	RPC 程序开发	71
7.1	RPC 协议编译器	71
7.2	RPC 程序调试	72
第 8 章	系统测试和验证	75
8.1	使用 VISA 访问 LXI 仪器	75
8.2	使用 VXI-11 协议发现工具访问 LXI 仪器	77
8.2.1	发现机制	77
8.2.2	通过 VXI-11 协议发现工具访问 LXI 仪器	79
第 9 章	其他待研究课题及主要成果	87
9.1	其他待研究相关课题	87
9.2	主要成果	87
附录 A	Portmap 协议规范(RPCL)	89
附录 B	VXI-11 协议规范(RPCL)	91
B.1	核心和终止通道协议	91
B.2	中断通道协议	96
附录 C	使用 VISA 编写的访问 LXI 的代码	97
参考文献		101

第 1 章 绪 论

测试总线即仪器总线,是连接不同仪器模块构建测试系统的通信与控制途径,在测试与测量(Test and Measurement, T&M)领域起着至关重要的作用。测试总线负责测试系统中控制指令和测试数据的传送,相当于中枢神经系统,测试与测量领域的发展往往以测试总线的发展为标志,测试总线技术直接影响着自动测试系统技术的发展水平。测试总线技术的发展是与计算机总线技术的发展密切相关的,伴随着计算机技术的渗透与发展,测试总线技术的发展日新月异^[1-3]。

1.1 测试总线技术的发展历程

测试总线技术的发展主要经历了以下几个阶段。

1. GPIB

1965 年,HP(Hewlett-Packard)公司为了同时连接多组测量仪器,首先设计出一个标准接口总线 HP-IB(Hewlett-Packard Instrument Bus),用于连接 HP 的计算机和可编程仪器。

HP-IB 接口总线逐渐得到普遍认可,其应用逐渐增多,1975 年 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers, 电气和电子工程师协会)将 HP-IB 列为标准规范,即 IEEE 488,并将其称为 GPIB(General Purpose Interface Bus, 通用接口总线),用于定义计算机和仪器之间的硬件接口规范。之后 IEEE 488 进行了扩充延伸,于 1992 年加入了格式、协议和共享命令等内容,并定义了测试程序集

(Test Program Set)和仪器之间的软件接口规范，并称为 IEEE 488.2 或 IEEE 488-1992，原先的 IEEE 488 则被称为 IEEE 488.1 或 IEEE 488-1975。GPIB 是测试和测量领域中第一个独立于供货商的仪器控制总线标准。图 1.1 为 GPIB 电缆和接口卡^[4]。

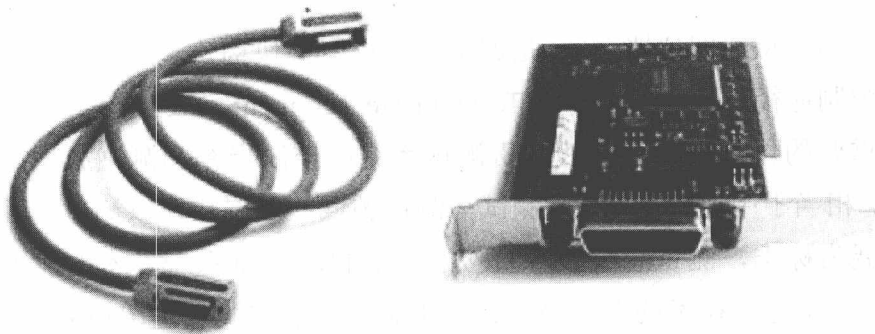


图 1.1 GPIB 电缆和接口卡

经过 40 年左右的普及，几乎所有的独立式仪器都配备有 GPIB 接口，网络上也有各种 GPIB 驱动程序，因而 GPIB 具有最好的兼容性。GPIB 测量系统的结构和命令简单，有专为仪器控制所设计的接口信号和牢固的接插件，具有突出的坚固性和可靠性。

GPIB 是一种外部总线，主要应用于台式仪器，适合于精确度要求高，但不要求高速传输的场合。

2. VXI

随着计算机处理器速度和存储容量的日益增长，GPIB 逐渐不合时宜。GPIB 无法提供多台仪器的同步和触发功能，在传输大量数据时带宽不足，成为了许多应用的通信瓶颈。例如，通过 GPIB 传送现代示波器或逻辑分析仪采集的数量庞大的数据是不可行的^[5]。

1979 年，Motorola 公司为了支持 MC68000 微处理器而制定了 VERSAbus，之后加入 IEC 的遵循标准而强化修定成 VERSAbus-E(E

指的是 Eurocard, 即欧洲卡), 并改称 Versa Module European 或 VMEbus; 1987 年由 IEEE 列为 IEEE 1014-1987, 称为万用背板总线 (Versatile Backplane Bus) 标准。

VMEbus 较 HP-IB/GPIB 更为快速, 可应用于更先进和对速度要求较高的场合, 不过单纯的接口规格已不能满足仪器业界的发展需求, 业界需要更大层面的一致性规范和仪器交换平台。

1987 年, Colorado Data System、HP、Racal Dana、Tektronix 和 Wavetek 等 5 家仪器公司的技术代表成立了一个技术委员会, 引入了 VXI(VMEbus eXtensions for Instrumentation)。VXI 是美国军方的一个模块仪器标准。同年 7 月, 该委员会(即后来的 VXI 总线联盟——VXIbus Consortium)发布了 VXIbus 规范的第一个版本, 几经修改和完善, 于 1992 年 9 月 17 日被 IEEE 批准为 IEEE 1155-1992 标准。该标准在 1993 年 2 月 23 日经 ANSI 批准, 于 1993 年 9 月 20 日出版发行。VXI 总线标准发展历史如表 1.1 所示^[6-8]。图 1.2 为 VXI 机箱和模块。

表 1.1 VXI 总线标准发展史

版本	0.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	IEEE 1155
日期	1987.7.9	1987.8.24	1987.10.7	1988.6.21	1989.7.14	1992.4.21	1993.9.20

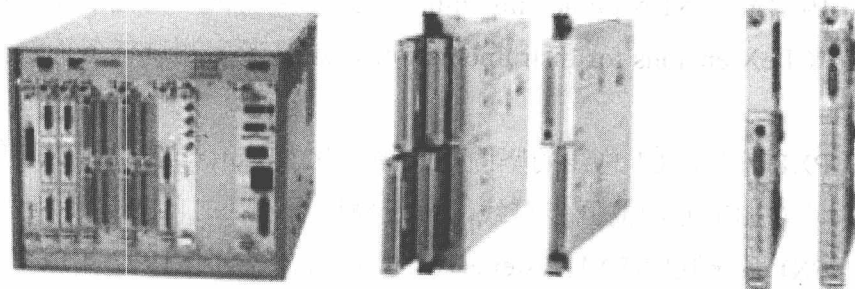


图 1.2 VXI 机箱和模块

VXI 作为一种内部总线,比 GPIB 具有更高的带宽和更好的延迟率,所以一经推出就被军工、航空和航天企业大量采用。

由于性能方面的余量, VXI 现在仍在许多领域中使用,但它拥有所有卡式仪器的典型缺点:与独立式仪器相比更加复杂,价格也比较高。由于其成本较高,所以很难向其他应用领域进行扩展^[9, 10]。

3. PXI

虽然时至今日基于 VXI 总线的仪器和系统已被普遍接受,但是因为组建 VXI 总线要求有机箱、零槽管理器或嵌入式控制器,造价高昂,而且带宽对于现今的高速测量装置仍显不足,人们又对测量总线技术提出了更高的要求。

1991 年下半年,由于 ISA、EISA 已远远不能适应要求而成为整个计算机系统的主要瓶颈, Intel 公司首先提出了 PCI(Peripheral Component Interconnect, 外设部件互连)的概念。PCI 是目前个人电脑(Personal Computer, PC)中使用最为广泛的接口,几乎所有的计算机主板上都带有这种插槽。作为内部总线,PCI 能够达到很高的带宽。1994 年提出的 CompactPCI(紧凑型 PCI, 简称 cPCI)是在 PCI 技术基础之上经过改造而成的,更适合构建高可用性系统,可满足电信、数字通信、军事装备以及其他高可靠性领域的要求。

1997 年, NI(National Instruments)公司为测试和测量应用提出了 PXI(PCI eXtensions for Instrumentation), 这是专为测试任务而优化的 cPCI。

PXI 基于 cPCI 总线的坚固性、模块化及 Eurocard 机械封装的特性,并增加了专门的同步总线,用于模块至模块之间的同步和触发。

PXI 系统联盟(PXI Systems Alliance, PXISA)于 1997 年成立,同年推出了 1.0 版的 PXI 规范。随着 PXISA 的接受度不断提高以及 PXI

标准的完善, PXI 规范和相关产品也逐渐走向了标准化的道路。1998 年, PXI 被定为工业标准, 它开始快速而稳健地发展。2000 年, PXISA 又推出了 PXI 2.0 版, 并于 2003 年 2 月将规范更新至 2.1 版^[11]。图 1.3 为 PXI 测试系统。

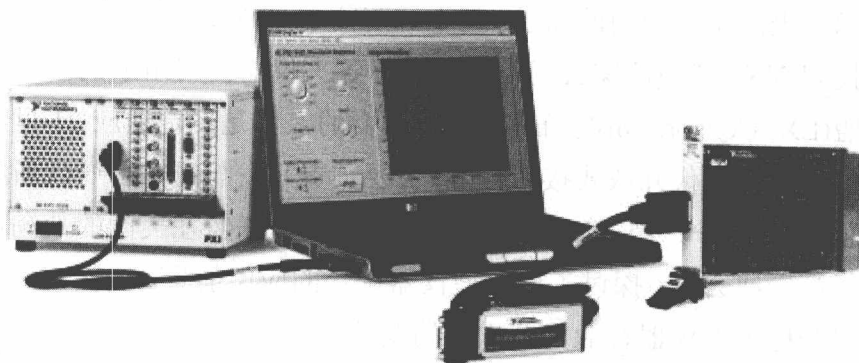


图 1.3 PXI 测试系统

与 VXI 相比, PXI 具有更快的总线传输速率、更小的体积以及更好的性能价格比。此外, PXI 能够提供纳秒级的定时和同步功能以及坚固的工业特性。而且, 得益于软件的灵活性和不断更新的模块化硬件, 用户可以最少的投资随时升级整个测试系统。如此优良的扩展性与灵活的软件架构, 使得基于 PXI 模块化仪器平台的系统集成变得更加普遍。

4. LXI

随着计算机技术与网络技术的发展, 测试领域又有了新的需求: 网络化测控、分布式测试系统的组建。互联网硬件的价格正不断下降, 速度也在不断提高, LAN(Local Area Networks, 局域网)提供了其他点到点接口标准中没有提供的对等通信。测试和测量工程师日

益认识到使用高速局域网替代专有测试测量接口的好处，业内需要更低的成本、更高的带宽和更快的数据传送速率，这对专有测试和测量接口提出了挑战^[12]。

在此背景之下，Agilent(安捷伦)科技公司于 2004 年提出了 LXI 总线 and 平台的概念。LXI(LAN eXtensions for Instrumentation)总线规范源于美国军方应用的需求。基于这些需求，2004 年 9 月，由 Agilent 科技和 VXI 科技两家公司发起、国际各大仪器公司组成的国际 LXI 联盟(LXI Consortium)宣布成立。该联盟的宗旨是制定适应 21 世纪测量仪器的新一代开放式接口标准，主要负责开发与研究下一代新型仪器总线 and 平台——LXI。2004 年 11 月，LXI 联盟在美国的盐湖城召开了第一次会议，探讨了该新型仪器平台的应用前景。这次会议的成功召开标志着仪器行业又一次新的变革的开始。

LXI 联盟于 2005 年 9 月 23 日发布了 LXI 标准 1.0 版，目前最新的 LXI 标准是 2006 年 8 月 28 日发布的 LXI 标准 1.1 版。图 1.4 为 LXI 仪器^[13-16]。

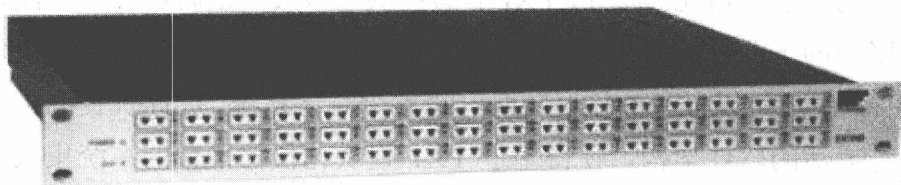


图 1.4 LXI 仪器

LXI 标准重新定义了一系列基于 LAN 的仪器类，其中包含基于现成的 IEEE 1588 技术的定时指标和可选的 LXI 触发总线。LXI 仪器是一种基于 LAN 的分立式仪器。LXI 以独特的方式将 GPIB 的优势和 VXI 的优势结合在一起。基于 LAN 的测试总线适合于远程测

量和控制，其广泛性和低成本的特点使之成为现有仪器控制总线(如 GPIB 等)的一个极具竞争力的替代项。

LXI 不仅提供了机架和堆叠式仪器的嵌入式测量技术以及 PC 标准 I/O 连接的能力，还实现了基于卡式仪器系统的模块化特点，并减小了体积。对于航空、国防、汽车、工业、医疗和消费类电子市场开发、电子产品的研发和制造工程师来说，LXI 紧凑灵活的封装、高速输入/输出和可靠的测量功能有效地满足了他们的需求。VXI 总线为所有高密度高速度应用提供了理想的标准。LXI 则同时融合了 VXI 和以太网(Ethernet)的优势，为用户提供了一个良好的高性能仪器平台，满足了 VXI 通常无法满足的应用需求。LXI 没有带宽、软件或计算机底板结构的限制，它可以利用日益提高的以太网吞吐量，为面临下一代自动测试系统挑战的工程师提供理想的解决方案^[17-20]。

综上所述，可以用图 1.5 来概括描述测试总线的发展历程^[21, 22]。

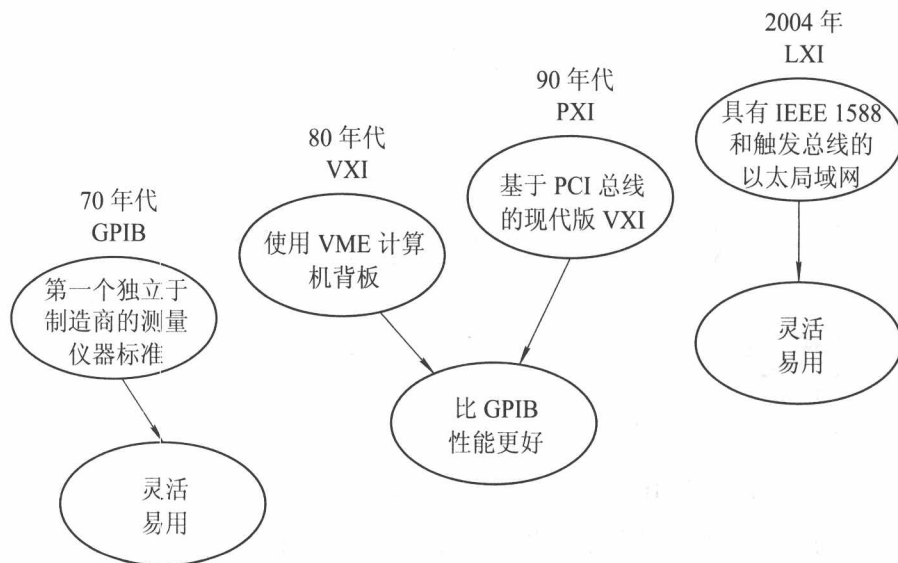


图 1.5 测试总线发展历程

1.2 未来测试系统的组成

展望测试系统的发展，以太网将成为主角，因此 LXI 也将成为主角。行业的实际情况是各种系统会延续多年，集成者和系统开发者会看到被称为“混合系统”的存在，如图 1.6 所示，GPIB、VXI、PXI 和 LXI 将共存于系统中，它们通常仅是 LAN 上的一个节点^[23-26]。

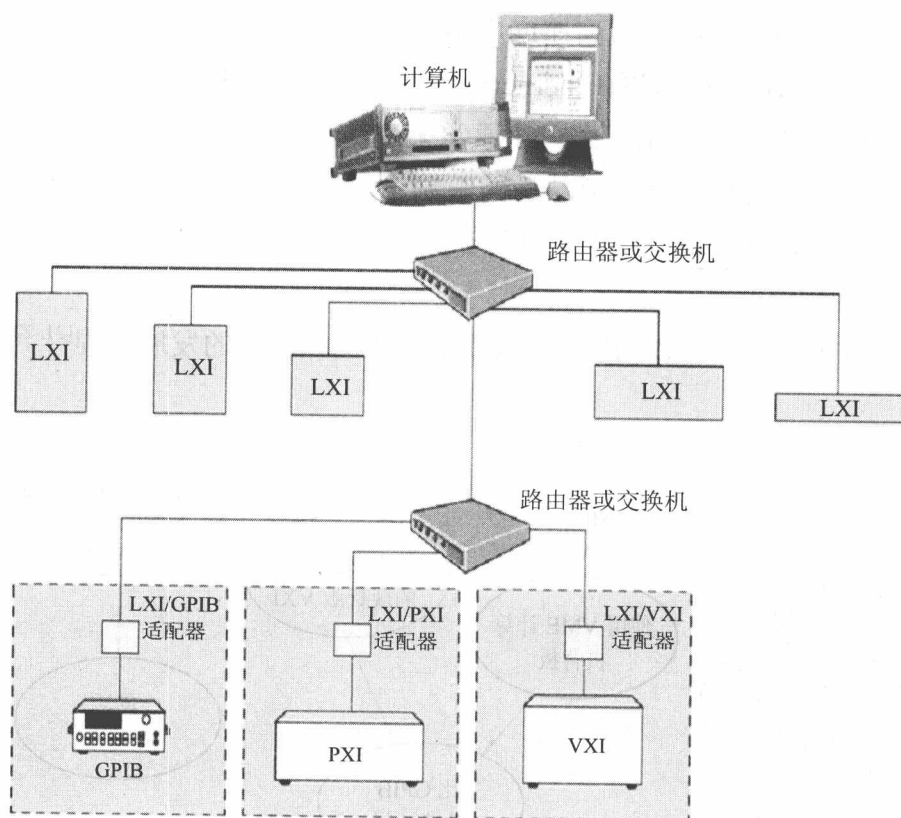


图 1.6 GPIB、VXI、PXI 和 LXI 组成的混合测试系统

作为测试系统发展的未来，LXI 技术将扮演越来越重要的角色。LXI 技术目前已经得到大多数仪器行业领先厂家的支持。

1.3 LXI 总线简介

LXI 标准由 LXI 联盟负责管理。LXI 联盟是一个非营利机构，目标是开发、支持和推广 LXI 标准。Agilent 科技公司和 VXi 科技公司利用其历史悠久的模块化仪器设计技术，推出了 LXI 平台，这是测试系统使用的开放式标准仪器发展中必然的一步。

通过几年的实践，人们认为选用以太网作为仪器总线的基础最具有发展前途，不再采用 GPIB 那样的 8 位并行总线，亦不采用更新周期较短的计算机外设总线。

1. LXI 的特点

以太网于 1985 年被接纳为 IEEE 802.3，经过二十多年的发展已经成为成熟的技术，并且还在不断地提高传输速度，是局域网和 PC 机的标准配置网络接口。以太网接口芯片、连接线缆、连接器、集线器的成本便宜，网页和网络浏览器资源众多，而且工程技术人员熟悉相关界面。

以太网的另一个优势是成本。以太局域网设施几乎遍布每一个角落，如电缆、交换机、路由器等。从仪器制造商的角度看，芯片组、模块、协议栈软件和相关专业知识都已经准备就绪^[27-30]。

LXI 标准建议采用千兆位以太网。很明显，仪器将向下兼容，许多仪器只需要 10 MB 或 100 MB 以太网。目前千兆以太网已经上市，它可以提供数据密集型应用和仪器要求的性能。

LXI 仪器包括内置的 Web 服务器，可以通过网络浏览器进行配置和维护。这是一种强大的功能，特别是对没有前面板、显示屏和旋钮的仪器。

GPIB、VXI 和 PXI 都包含有触发总线, 通过硬件方式来实现不同仪器模块之间的同步。由于 LAN 网线没有同步信号线, 因此, LXI 总线要完成不同仪器之间的同步, 需要采用不同的途径。LXI 总线同步方式包括基于 LAN 消息、基于 IEEE 1588 精确时间同步协议和硬件触发总线三种形式^[31-34]。

LXI 仪器的软件功能建立在 IVI(Interchangeable Virtual Instruments, 可互换式虚拟仪器)技术之上, 要求达到模块之间的可互换性。

LXI 标准作为极具开放性和灵活性的新一代仪器接口规范, 不但能够实现由基于以太网的仪器组成的测量系统, 而且还能够通过适配器与 GPIB、VXI 和 PXI 仪器组成更大的测量系统。

与传统的卡式仪器相比, LXI 模块化仪器具备了许多优势:

- (1) 可以保证仪器的全部性能。
- (2) 集成更为方便, 不需要专用的机箱和零槽管理器。
- (3) 可以利用网络界面进行操作。
- (4) 连接和使用更为方便, 可以利用通用软件进行系统编程。
- (5) 非常容易实现校准计量和故障诊断。
- (6) 灵活性强, 可以作为系统仪器使用, 也可以单独使用。

2. LXI 仪器分类

LXI 标准定义了三种基本的 LXI 设备类型, 它们的差别主要是触发能力。最初设想的 LXI 是模块化规范, 使用 1/2 机架宽度和 1U 或 2U 的高度。之后通过与系统集成者的讨论, LXI 很快变成了远远超过这些模块的一致性的、基于 LAN 的仪器规范。例如, 台式仪器可从 LXI 规范中的一致性 LAN、网络和触发定义获益。同样, 许多数据采集和传感器应用要求装置远小于任何台式仪器, 这种情况下可